த. பா. நு. (க.மவ.) வரிசை எண்—272

புதுமை பௌதிகம்

(இரண்டாம் தொகுதி)

(பட்டப்படிப்புக்குரியது)

ஆசிரியர் :

ஜே. பி. ராஜம், டி. எஸ்ஸி.,
(அணு பௌதிகம் எழுதியவர்)

தமிழாக்கம்

கா. வே. சுப்பிரமணியன், பி.எஸ்ஸி. (ஹானர்சு),
பௌதிக விரிவுரையாளர்,
ஏ.வி.சி. கல்லூரி,
மாயூரம்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—November, 1971

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 272

MODERN PHYSICS (Vol. II)

J. B. RAJAM

Translation

K. V. SUBRAMANIAN

Net Price Rs. 6-75

(No discount)

This translation of "Modern Physics" by J. B. Rajam, 1964 edition is published by arrangement with Messers S. Chand and Company, Ramnagar, New Delhi-1.

Printed by

KUMARAN PRESS,

298, Mint Street,

Madras-1.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி—உள்ளாட்சித் துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினோராண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் விஞ்ஞானப் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டு தோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாட நூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'புதுமை பௌதிகம்' (இரண்டாம் தொகுதி) என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 272ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 307 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும்; அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரித்தாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

3. நேர்மின் கதிர்கள் 1

நேர்மின் கதிர்களின் பிறப்பிடம் 4

நேர்மின் கதிர் ஆய்வுக்கான, தாம்சனின் பரபோலா முறை ... 8

ஆஸ்டனின் நிறை நிறமாலை வரைவி 19

டெம்ப்ஸ்டரின் நிறை நிறமாலை வரைவி ... 29

பெயின்பிரிட்ஜின் நிறை நிறமாலை வரைவி ... 34

நீரின் நிறை நிறமாலை வரைவி 37

பெயின்பிரிட்ஜ்—ஜோர்டான் ஆகியோரின் இரட்டை—குவிய நிறை நிறமாலை வரைவி ... 38

தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு முறை ... 40

ஐசோடோப்புகளின் இயல்புகள்—ஐசோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை—சிறந்த சில ஐசோடோப்புகள்—ஐசோடோப்புகளைப் பிரித்தல் — ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள்—ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு.

4. எக்ஸ்-கதிர்கள் 52

எக்ஸ்-கதிர்களின் ஆக்கமும்—அவைகளைக் கண்டறிதலும் 54

வாயுக்குழாய்; கூலிட்ஜ் குழாய் — எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனியாக்கும் திறன் — எக்ஸ்-கதிர்களை உட்கவர்தல்.

வெக்டார் அணுமாதிரியுடன் இணைந்துள்ள குவான்டம் எண்கள்—இணைப்புத் திட்டங்கள்—அணுக்களில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு — தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணை — நவீனக் குறியீடுகள் கொண்ட எலெக்ட்ரான் அமைப்புகளுக்குச் சில எடுத்துக்காட்டுகள்—நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு: தேர்வு விதிகள்; செறிவு விதிகள்; இடைவெளிவிதி; நிறமாலை உறுப்புகள்—ஒளியியல் நிறமாலைகள்—பௌலியின் கோட்பாட்டினால் உறுப்புப் பெருக்கத்தில் ஏற்படும் எல்லை—நிறமாலை உறுப்புகளுக்கான குறியீடுகள்—நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு—வெக்டார் அணு மாதிரியினைச் செய்முறையில் நிலைநாட்டல்—ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் செய்முறை.

அலைவிசையியல் அணுமாதிரி 367

கலைச்சொற்கள் 375

பொருட் குறிப்பு அகராதி 400

புதுமை பௌதிகம்

(இரண்டாம் தொகுதி)

3. நேர்மின் கதிர்கள்
(Positive Rays)

முன்னுரை :

நேர்மின் அயனிகளின் ஓட்டத்தினுல் நேர்மின் கதிர்கள் உண்டாவதைக் கண்டோம். மின்னிறக்கக் குழல் (discharge tubes) களில் ஏற்படும் அயனியாக்கத்தினுல் (isonisation) அணுக்கள் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை (electron) இழக்க, நேர்மின் அயனிகள் உண்டாகின்றன. எலெக்ட்ரானின் நிறை மிகக் குறைவாகையினுல் நேர்மின் அயனியின் நிறை (mass) அணுவின் நிறைக்குச் சமமாகவே இருக்கும். எனவே, நேர்மின் அயனிகள், ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவின் நிறை பற்றிய நேரடி விபரம் கொடுக்கக்கூடியவை. ஆகவே, நேர்மின் அயனியின் நிறையை, நேர்மின் கதிர்களைக் கொண்டு மிகத் துல்லியமாக அறியும் செயல் மிகச் சிறப்பு வாய்ந்ததாகும்.

'ஒரு தனிமத்தின் அணுக்களெல்லாம் நிறையுட்பட எல்லா விதங்களிலும் ஒரே மாதிரியானவையா?' என்பது பற்றி விஞ்ஞானிகளிடையே எழுந்த கருத்து வேற்றுமைகளைக் களைந் தெறியும் தன்மையினுலும் நேர்மின் கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வுகள் மேலும் சிறப்புப் பெறுகின்றன. அணுக் கொள்கையின் (1808) தந்தையாகிய டால்டன் 'ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் யாவும் ஒரே தன்மையுடையன' என்று கொள்வதன் மூலம், இரசாயன சேர்க்கை பற்றிய பல்வேறு விதிகளையும் தெளிவாக அறிதல் கூடும் என எண்ணினுர். ஆனுல், ப்ரவ்ட் (Prout) என்பார் எல்லா மூலகங்களையும் ஹைட்ரஜன் என்னும் மூலகத்தை அடிப்படையாக வைத்து விளக்கினுர். ஹைட்ரஜனின் அணுவின் எடை ஒன்று என்று கொண்டு அதை முழு எண்களால் பெருக்க மற்ற மூலகங் களின் அணு எடை கிடைக்குமென்ருர். 1815-ல் ஒரு தனிமத் தின் அணுக்களின் நிறை ஒரே அளவுடையதாக இருக்கவேண்டிய

அவசியமில்லை யென்றும், ஒரு இரசாயன தனிமத்தின் அணு எடை என்பது அந்த மூலகத்தின் பல அணுக்களின் சராசரி எடைதான் என்றும் கூறி தனது கொள்கையை வெளியிட்டார்.

எனினும் மிக நுண்ணிய முறையில் மூலகங்களின் அணு எடைகளைக் கணக்கிட்டு அறிந்தபோது பல மூலகங்களின் அணு எடை ஹைட்ரஜன் அணு எடையின் முழு மடங்குகளாக இல்லாமை அறியப்பட்டது. எனவே, டால்டனின் கொள்கையே சிறந்ததெனக் கொண்டு ப்ரவ்ட்டின் கொள்கை புறக்கணிக்கப் பட்டது. ஆனால், 19ஆம் நூற்றாண்டில் கண்டுபிடிக்கப் பட்ட 'கதிரியக்கத் தனிமங்களைப் (radioactive elements) பற்றிய அறிவும் செய்முறைச் சான்றுகளும் ஒரு தனிமத்தின் அணுக்களின் எடை ஒரே அளவினதாக இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை' என்ற ப்ரவ்ட்டின் கொள்கைக்குத் துணையாய் நின்றன. கதிரியக்கத் தொடரில் (radioactive series) உள்ள பல்வேறு மூலகங்கள் ஒரேவிதக் குணங்கள் கொண்டவையாகவும் ஆனால், வெவ்வேறு எடை உடையனவாகவும் இருப்பது தெரிகிறது. தனிமங்களை அவற்றின் குணங்களை வைத்து வரிசைப்படுத்தி அமைக்கப்பட்டத் தனிம அட்டவணையில் (periodic table) இவ்வகைக் கதிரியக்கத் தொடரில் உள்ள தனிமங்கள் ஒரே இடத்தில் அமைந்திருப்பதால் இவைகளை ஒரே இடத்தில் அமைவன எனப் பொருள்பட ஐசோடோப்புகள் (isotopes) என்றழைத்தனர். இதன் பின்னர் அணு எடைகளை முழு எண்களாகக் குறிப்பிடக் கூடுமா? கதிரியக்கக் குணமில்லாத தனிமங்களிலும் ஐசோடோப்புகள் இருக்கக் கூடுமா? என்பன பற்றி அறிய மீண்டும் முயற்சிகள் நடந்தன. இந் நிலையில்தான் முழு எண்விதி (whole number rule) மூலகங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு முறை ஆகியவற்றிற்குச் சாதகமாக இச் சிக்கலுக்கு நேர்மின் கதிர் ஆய்வுகள் நல்ல ஒரு முடிவினைத் தந்தன.



ஜே. டால்டன்

1911-ல் இத் துறையில் ஜே. ஜே. தாம்சன் என்பார், நேர்மின் கதிர்களில் மின்புலத்தால் ஏற்படும் ஒதுக்கம் (deflection) காந்தப் புலத்தால் ஏற்படும் ஒதுக்கம் இவை பற்றிய தனது சிறப்பு மிக்க ஆய்வுகளைத் தொடங்கினார். இவ் வாய்வுகளைப் பொதுவாக நேர்மின் கதிர் ஆய்வு பரவளைய முறை (parabola method) என்பர்.

கேம்பிரிட்ஜ்ஜில் உள்ள கெவெண்டிஷ் ஆய்வுக் கூடத்தில் ஆஸ்டன் (Aston) என்பார் தாம்சனின் இம்முறையின் ஆய்வு முறை நுட்பங்களைச் சீர்செய்து 1919-ல் நேர்மின் கதிர்களை ஆய்வதற்கும், ஐசோடோப்புகள் பற்றி அறியவும் ஏற்ற நிறை நிறமாலை வரைவி (mass spectro graph) என்ற ஒரு சிறந்த கருவியை உருவாக்கினார். டெம்ப்ஸ்டர் (Dempster), பெயின் பிரிட்ஜ் (Bainbridge) முதலானோர் இன்னும் சிலர் மேலும் பல செம்மைகள் செய்யப்பட்ட நிறை நிறமாலை வரைவியை அமைத்து அதைக் கொண்டு தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்புகளையும், தனிப்பட்ட ஐசோடோப்புகளின் நிறையையும் மிக மிகத் துல்லியமாக அளக்கும் நிலை வரும்வரை ஆஸ்டன் இத் துறையில் பல ஆண்டுகள்வரை தன்னிகரற்று விளங்கினார். இதன் விளைவாகக் கீழ்வருபவை ஐயமற வரையறுக்கப்பட்டன.



பேராசிரியர் ஆஸ்டன்

(1) ஒரு தனிமத்தின் பல்வேறு ஐசோடோப்புகள் மற்றக் குணங்களில் ஒரு தன்மையன ஆயினும் வெவ்வேறு நிறையுடையன. தனிமச் சேர்க்கையின்போது வெவ்வேறு அளவில் சேருகின்றன.

(2) உண்மையில் ஒவ்வொரு ஐசோடோப்பின் நிறையும் முழு எண் விதியினின்றும் சிறிதளவு மாறுபடவே செய்கிறது. இதுதான் பின்னர் அணுவின் முடிவான அமைப்புப் பற்றிய அடிப்படை கண்டுபிடிப்புகளுக்கு ஆதாரமாய் அமைந்தது.

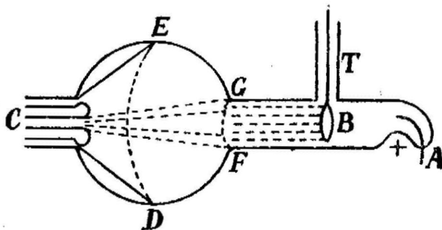
நேர்மின் கதிர்களின் உதவியால் எவ்வாறு மேற்கண்ட முடிவுகள் விளைந்தன என்று சிந்திப்பதே இவ் வத்தியாயத்தின் நோக்கம். முதலில், இத் துறையில் தாம்சனின் ஆய்விலிருந்து தொடங்கி, பல்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்கள் உருவாக்கிய கருவிகள் சிலவற்றை விளக்குவோம். பின்னர் இவ்வாராய்ச்சிகளின் விளைவுகளான தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு, அவற்றின் நிறை பற்றிய முடிவுகள், இன்னும் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்பீட்டுச் செழிப்பு (relative abundances) இவைகளைக் காண்போம்.

நேர்மின் கதிர்களின் பிறப்பிடம்

நேர்மின் கதிர்களை மிகத் துல்லியமாக ஆய்வதற்குச் செறிவார்ந்த கற்றைகளை (intense beams) உண்டாக்கவல்ல, செம்மையாக உருவாக்கப்பட்ட சாதனங்கள் வேண்டும். இதை அடைவதில் ஆய்பொருளின் தன்மைக்கேற்பப் பல்வேறு முறைகள் கையாளப்பட்டன.

கோள வடிவு மின்னிறக்கக் குழாய் (Spherical discharge Tube) :

(1) வாயு அல்லது ஆவி நிலையிலுள்ள தனிமங்களை ஆய்வதற்கு ஆஸ்டன், கண்ணாடியாலான கோள வடிவு மின்னிறக்கக் குழாய்களைச் சிறந்த சாதனமாகப் பயன்படுத்தினர். அதில் மையத்தில் துளையிடப்பட்ட, குழிவான அலுமினியத் தகட்டாலான எதிர்மின் வாயும் (cathode) அலுமினியக் கம்பியினாலான நேர்மின் வாயும் (anode) இருந்தன. செறிவு மிக்க எதிர்மின் கதிர்க் கற்றைகளின் தாக்குதலினால் குழலின் சுவர்கள் உருகிவிடாமலிருக்கும் பொருட்டு எதிர்மின் வாயின் எதிர்ப்பக்கத்தில் சிலிக்கா (silica) வினால் செய்யப்பட்ட குமிழ் ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருந்தது. ஆய்வுக்கு எடுத்துக்கொண்ட வாயு எதிர்மின் வாயின் அருகமைந்த குறுகிய இடைவெளி வழியே செலுத்தப்பட்டது. தொடர்ந்து மின்னிறக்கம் (discharge) நடைபெற சக்திமிக்கத்



படம் 116

தூண்டுசுருள் (induction coil) ஒன்று பயன்படுத்தப்பட்டது. மின்வாய்களின் அமைப்பும் அவை பொருத்தப்பட்டிருந்த குழல் தனக்குத்தானே திருத்தியாகவும் (rectifier) இயங்கத்தக்கவாறிருந்தது. இவ்வமைப்பு 0·5-லிருந்து 1·0 மிலி ஆம்பியர் மின்னோட்டத்திலும் 20,000-லிருந்து 50,000 வோல்ட் மின் அழுத்திலும் நன்கு இயங்கியது.

இக் கோள வடிவு மின்னிறக்கக் குழல் பின்பு கீழே சொல்லப்படும் முறைகளில் ஆஸ்டனால் செம்மை படுத்தப்பட்டது. அலுமினியத்தில், ஒரு அங்குலம் குறுக்களவு கொண்ட திண்மையான (solid) அரை வட்ட வடிவின் நடுவில் 3 மி.மீ. அளவுள்ள துளையோடு கூடிய எதிர்மின் வாயின் முன்பக்கம் படம் 116-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் புதுமையான வளைவோடு விளங்கியது. இவ் வமைப்புச் சற்றுத் திறன் குறைவானதாக இருப்பினும், குழிவான தகட்டாலான எதிர்மின் வாயினைவிடச் சிறந்ததாகக் கருதப்பட்டது. ஏனெனில், இது அமைக்கும் நிலையில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல்களால் அதிகம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. மேலும், எதிர்மின் கதிர்களின் ஆற்றலை மறையச் செய்வதற்கென்று தனியாக மாற்று எதிர்மின்வாய் (anticathode) ஒன்று தேவையில்லை. ஏனெனில் இக் கதிர்கள் இப் புது வடிவு கொண்ட எதிர்மின் வாயினின்றும் இரு பகுதிகளாக வெளியிடப்படுகின்றன. (1) அகன்ற கூம்பு வடிவில் பரவலாக, சுவற்றில் *ED* என்ற இடங்களில் மோதும் பகுதி (2) எதிர்மின் வாயின் குழிவுப் பகுதியினின்றும் கிளம்பி *GF* என்று கூம்பு வடிவில் வெளிவரும் செறிவு மிக்கப் பகுதி. போகப் போகக் குறுகி நேர்மின் வாய் *A* யில் முடிவுறும் நீண்ட உருளை வடிவப் பகுதியில் மேற்சொன்ன இரண்டாம் பகுதியில் மறைந்துவிடுகிறது. ஆய்பொருள் அதிக ஆவி அழுத்தங் கொண்டதாக இருப்பின் எதிர்மின் வாயின் பின்பக்கத்திலமைந்து சிறு கண்ணாடிக் கசிவு வாய் (glass leak) வழியே செலுத்தப்படுகின்றது. குறைந்த ஆவி அழுத்தங் கொண்ட பொருளாயின் சிறு அடைப்பான் (stop cock) வழியாக அனுப்பப்படுகிறது. மிக அதிகக் கொதிநிலை உள்ள திண் பொருள்கள் *B* என்னும் கண்ணாடியாலான வாளியில் வைக்கப்பட்டு நேர்மின் வாயின் அருகே அமைந்துள்ள செங்குத்துக் குழலின் வழியே உள்ளே இறக்கப்படுகின்றன. அங்கு அவை எதிர்மின் கதிர்களின் வெப்ப ஆற்றலால் ஆவியாக்கப்படுகின்றன.

எதிர்மின் வாயினை மட்டும் சரியாகப் பொருத்திவிட்டால் இவ்வித முன்னேற்றங்கள் கோள வடிவு மின்னிறக்கக் குழாயினை மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தில் செறிவுமிக்க நேர்மின் கதிர்களைத்

தோற்றுவிக்கும் ஆற்றல் கொண்டதாகச் செய்கின்றன. இவ்வமைப்பை ஒரு மில்லி ஆம்பியர் மின்னோட்டம், 40,000 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தில் குளிர்விக்கும் செயற்கை முறைகள் ஏதுமின்றி நீண்டகாலத்திற்கு இயக்கலாம். இத்தகைய ஒரு அமைப்பினைத்தான் ஆஸ்டன், 'நிறைமை நிறமாலை' (mass spectra graph) பற்றிய தன்னுடைய எல்லா ஆராய்ச்சிகளுக்கும் பயன்படுத்தி அருமையான முடிவுகளைக் கண்டார்.

உருளை வடிவ மின்னிறக்கக் குழாய் (Cylindrical discharge Tube) :

எதிர்மின் வாயின் எதிர்ப் பக்கம் போகப் போக குறுகி (எதிர் மின் கதிர்களின் ஆற்றலை நீக்க), பக்கவாட்டில் அமைந்த குழாய் ஒன்றில் நேர்மின் வாய் பொருத்தப்பட்டதுமான உருளை வடிவு மின்னிறக்கக் குழல்களும், வாயுப் பொருள் ஆய்வுகளில் கோல்ட் ஸ்டின் (Goldstein), தாம்சன் முதலியோரால் ஆரம்பகாலத்தில் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவ்வகைக் குழாய் எதிர்மின் வாயின் மையத் துளைப் பகுதியில் செறிவுமிக்க நேர்மின் கதிர்களைத் தருவதில் கோள வடிவுக் குழாயைவிடச் சிறந்து விளங்குகிறது. எனவே பலவகைப்பட்ட ஆய்வுகளுக்கு இது பயனுடைய ஒன்றா கிறது.

நடைமுறையில் இவை திண்மையான (solid) கதிர்க்கற்றை களுக்குப் பதிலாக உள்ளீடற்ற (hollow) கூம்பு வடிவக் கதிர்க் கற்றைகளையே தருகின்றன. மேலும் இக் குழாய்களை அதிகப் பயனுள்ள வகையில் இயக்கச் செய்யவேண்டிய செயல்கள் தொல்லையும், உழைப்பும் கொண்டன. ஆயினும் ஒருமுறை செம்மையாக அமைந்துவிட்டால் நீண்ட காலத்திற்கு நன்கு இயங்கும் தன்மையுடையன.

வெப்ப நேர்மின்வாய் முறையும் கலப்பு நேர்மின்வாய் முறையும்

(Hot Anode method Composite Anode)

பெருமளவு உலோகங்களைப் போன்று எளிதில் ஆவியாகாத திண் பொருள்களுக்கு மேற் சொன்ன முறைகள் ஏற்றவை அல்ல. எனவே வேறு முறைகள் கையாளப்பட்டன. பொருள் ஏதோ ஒரு வடிவில் நேர்மின் வாயில் பொருத்தப்பட்டு அதுவே அதற்குத் தேவையான நேர்மின் கதிர்களை உண்டாக்கிற்று. எனவேதான் நேர்மின் கதிர்கள் நேர்முனைக் கதிர்கள் (anode rays) என்ற பெயர் கொண்டன.

வெப்ப நேர்மின்வாய் முறை (hot anode) கலப்பு நேர்மின்வாய் (composite anode) முறை என்ற இருவேறு முறைகள் பழக்கத்தி லிருக்கின்றன.

வெப்ப நேர்முனை முறை :

இம் முறையில் ஆய்வுக்கான உலோகத்தின் உப்புப் பூசப்பட்டு, மின்சாரத்தால் சூடு படுத்தப்படும் பிளாட்டினம் தகடு நேர்மின் வாயாக அமைந்துள்ளது. இந்த நேர்மின் வாய், எதிர்மின் வாயினருகில் 1 செ. மீட்டரில் எதிர்மின் வாயிலுள்ள துளைக்கு முன்பாக அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. பெருமளவுக்கு வெற்றிட மாக்கப்பட்ட குழாயின் எதிர்மின் முனையைச் சிறிதே பழுக்கும்படிச் சூடாக்கி, பெரிய தூண்டு சுருள், ஓரிரு மில்லி ஆம்பியர் மின்னோட்டம், 20,000 வோல்ட் மின்னழுத்தமுள்ள நிவர்த்திக்கும் கெனோட்ரான் (Rectifying Kenotron) இவற்றைக் கொண்டு மின்னிறக்கம் ஏற்படச் செய்தால், மிகுந்த அளவில் நேர்மின் கதிர்கள் உண்டாகின்றன. மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தின் காரணமாக அவை கண்களுக்குப் புலப்படுவதில்லை என்றாலும் அவை எதிர்மின் வாயில் ஏற்படுத்தும் சுடரொளியினைக் (scintillations) கொண்டு அவற்றை நாம் ஊகித்தறியலாம். வெப்ப நேர் மின் வாய் முறையில் நேர்மின் கதிர்களை உண்டாக்கும் வகை பற்றி ஆய்ந்தபோது அவை பிளாட்டினத்தின் மேல் பூசப்பட்டிருந்த உப்பின் பரப்பிலிருந்து வரவில்லை என்பதும் பிளாட்டினம் தகட்டி லிருந்துதான் வந்தன என்பதும் தெளிவாயிற்று. பூசப்பட்ட உப்பு விரைவில் மறைந்து விடுவதால் மீண்டும் மீண்டும் உப்புப் பூச்சுக் கொடுக்க வேண்டியிருக்கிறது. இது இம் முறையிலுள்ள பெருங்குறையாகும். எனினும் இம் முறையை J. P. தாம்சனும், டெம்ப்ஸ்டரும் காரவகையைச் சேர்ந்த உலோகங்களின் (Alkali metals) நேர்மின் கதிர்களைப் பெற பயன்படுத்தி ஓரளவு வெற்றியடைந்தனர்.

கலப்பு நேர் முனை (Composite Anode) முறை :

கிராஃபைட் பொடியுடன், ஆய்வுக்கான தனிமத்தைக் கொண்ட உப்பு ஒன்றைச் சேர்த்துச் செய்யப்பட்ட பசையினை, சிறு எஃகு உருளை ஒன்றின் முனையில் துளைக்கப்பட்ட பொந்து ஒன்றில் திணித்து உண்டாக்கப்பட்ட கலப்புப் பரப்பு நேர்மின் வாயாகப் பயன்படுகிறது. இது மின்னிறக்கம் ஏற்படுகையில் தானாகச் சூடாகிறது. குழிந்த எதிர்மின் வாயிலிருந்து செறிவுமிக்க எதிர் மின் வாய்க் கதிர்கள் (cathode rays) கிளம்பி இப் பரப்பின்மேல் விழுகின்றன. இதனால் மிகச் செறிவுள்ள நேர்மின்வாய்க் கதிர்கள் உண்டாகின்றன. இம் முறையில் கதிர்கள் உண்டாக்கிய பின்னர்,

இரண்டாவது எதிர்மின்வாய் கெனேட்ரான் ஆகியவற்றின் உதவி கொண்டு அக் கதிர்களின் வேகத்தினை அதிகரிக்கலாம். இது இம் முறையிலுள்ள தனிச் சிறப்பாகும். இது செயல்படும் முறை ஒரு வரம்பிலமையாது அடிக்கடி மாறிக்கொண்டே செல்வதாலும், காரணங்கூறிட இயலாது இருப்பதாலும் நேர்மின்வாய் கதிர்கள் உண்டாக்கும் முறைகளை எளிதில் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்ள முடிவதில்லை.

உலோகங்கள் தூய்மை அற்றனவாகவோ, அல்லது மிகச் சிறிய அளவில் கிடைக்கக் கூடியனவாகவோ இருப்பினும் கூட இம் முறை பெரும்பயன் தரக் கூடியதாகத் தோன்றுகிறது.

நேர்மின் கதிர் ஆய்வுக்கான, தாம்சனின் பரபோலா முறை

(Thomson's Parabola method of Positive ray Analysis)

கொள்கை :

இம் முறையின் கோட்பாடு (principle) எலெக்ட்ரான்களின் $\frac{e}{m}$ காண்பதற்கு நாம் பயன்படுத்திய கோட்பாட்டினை ஒத்ததே ஆகும். நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட அயனிகளின் கற்றை ஒன்றினை, ஒரே நேரத்தில், இணையான, சீரான செறிவுள்ள மின் புலம், காந்தப்புலம் இவைகளுக்கு ஆட்படுத்தி, அதன் விளைவினை ஒளிப்படமாக எடுப்பதே இம் முறை ஆகும்.

இத்தகைய கற்றையில் உள்ள, நேர்மின் அயனியை எடுத்துக் கொள்வோம். M என்பது அதன் நிறையென்றும், e என்பது அதன் மின்னூட்டம் என்றும் v என்பது அதன் திசை வேகம் (velocity) என்றும் கொள்வோம்.

எந்த ஒரு புலமும் இல்லாத போது அயனிக்கற்றை, ஆரம்பத்தில் செல்லும் திசையில் அமைந்த நேர்க்கோட்டின் வழி சென்று ஒளிப்படத் தகட்டில் படும் இடத்தை நேர்ப்புள்ளி (undeflected spot) என்று கூறலாம்.

X என்னும் வலிமை கொண்ட ஒரு மின்புலம் நேர்மின் அயனியின் பாதையில் குறிப்பிட்ட ஒரு தூரத்திற்கு, கற்றையின் பாதைக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். அயனி மின்புலத்தின் திசையில் விலக்கப்படுவதால், மேற்கூறிய நேர்ப்புள்ளியில் மோதாமல், அப் புள்ளியிலிருந்து x என்னும்

தூரத்தில் உள்ள வேறு புள்ளியில் மோதுகிறது. இந்தத் தூரத்தினைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

மின்புலத்தில் அயனி செல்லும் பாதையின் நீளம் l என்றும் அது மின்புலத்தைக் கடந்து செல்ல எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் 't' என்றும் கொள்வோம். எனவே $t = \frac{l}{v}$ என ஆகும். இந்த 't' என்னும் நேரத்தில் அயனி தன்னுடைய நேர்ப்பாதையிலிருந்து விலகி, மின்புலத்தின் திசையில் பெற்ற இடப் பெயர்ச்சி (displacement) S எனின், $S = \frac{1}{2} a\, t^2$ என ஆகும். இங்கு 'a' என்பது மின்புலத்தினால் அயனியின் வேகத்தில் ஏற்பட்ட முடுக்கத்தினைக் (acceleration) குறிக்கிறது.

இங்கு $a = \frac{Xe}{M}$ ஆகும்.

எனவே $s = \frac{1}{2}\left(\frac{Xe}{M}\right)\left(\frac{l}{v}\right)^2$

புலத்தைவிட்டு நீங்கிய பின்னர் அயனி நேர்க்கோட்டில் சென்று, ஒளிப்படத் தகட்டின் நேர்ப்புள்ளியிலிருந்து x தூரத்தில் உள்ள புள்ளியில் மோதுகிறது. x என்னும் தூரம் s என்னும் இடப் பெயர்ச்சி, ஒளிப்படத் தகட்டிற்கும் மின்புலத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம், இவற்றைச் சார்ந்திருக்கும் என்பது வெளிப்படை,

எனவே, $x = K \frac{Xe}{Mv^2}$ ... ... (1)

என எழுதலாம். இச் சமன்பாட்டில் K என்பது, l என்னும் பாதையின் நீளம், ஒளிப்படத் தகட்டிற்கும் மின்புலத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் இவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடப்படும் ஒரு மாறிலி (constant) ஆகும்.

மின்புலத்திற்குப் பதிலாக H வலிமையுடைய ஒரு காந்தப் புலத்தை, மின்புலம் செயற்பட்ட அதே திசையில் அதாவது அயனியின் ஆரம்ப பாதைக்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படச் செய்வோம். இப்போது, நாம் எடுத்துக்கொண்ட அயனி, அப் புலத்தினால், அதன் ஆரம்பத் திசை மற்றும் காந்தப்புலத்தின் திசை இவை இரண்டிற்குமே செங்குத்தாய் அமைந்த திசையில் விலக்கப்படுகிறது. இதன் காரணமாக, நேர்ப்புள்ளியிலிருந்து y தூரத்தில், முன் நிகழ்ச்சியில் உள்ள x என்னும் தூரத்திற்கு

நேர்க்குத்தாக அமைந்த கோட்டில் ஒளிப்படத் தகட்டில் மோதுகிறது.

காந்தப்புலத்தில் அயனி செல்லும் பாதையின் நீளம், 'l'' என்றும் அதனைக் கடந்து செல்ல ஆகும் நேரம் 't'' என்றும் கொண்டால் $t' = \frac{l'}{v}$ என்றாகும். இந்த நேரத்தில் காந்தப் புலத்தின் வலிமையினால் அயனிக்கு ஏற்பட்ட இடப்பெயர்ச்சி S' என்றால் $s' = \frac{1}{2} a' t'^2$ ஆகும். இங்கு a' என்பது அயனியின் வேகத்தில் ஏற்பட்ட முடுக்கத்தைக் குறிக்கும்.

இங்கு $a' = \frac{H e v}{M}$ ஆகும்.

எனவே, $s' = \frac{1}{2} \frac{H e v}{M} \left(\frac{l'}{v} \right)^2$ என்றாகும்.

காந்தப்புலத்தைவிட்டு நீங்கியதும் அயனி நேர்க்கோட்டில் சென்று ஒளிப்படத்தகட்டில் உள்ள விலகாத புள்ளியிலிருந்து y தூரத்தில் மோதுகிறது.

$$y = K' \frac{H e}{M v} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இச் சமன்பாட்டில் K' என்பது மாறிலி ஆகும். இது அயனி செல்லும் பாதையின் நீளமாகிய l' ஒளிப்படத்தகட்டிற்கும், காந்தப் புலத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் இவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடப்படுகிறது.

மின்புலம், காந்தப்புலம் இவை இரண்டும் ஏககாலத்தில் இணையான திசைகளில் செயல்பட்டால் ஏற்படும் முடிவான இடப்பெயர்ச்சியின் (resultant displacement) ஆயத் தொலைவுகள், நேர்ப்புள்ளியினை ஆயங்களின் தொடக்கமாகக் கொண்டால், x மற்றும் y என்றாகும்.

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\frac{y}{x} = K' \frac{He}{Mv} \times \frac{M v^2}{KXe}$$

$$= \frac{K'}{K} \cdot \frac{H}{X} \cdot v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$\frac{y^2}{x} = K' \cdot \frac{H^2 e^2}{M^2 v^2} \cdot \frac{Mv^2}{KXe}$$

$$= \frac{K'^2}{K} \cdot \frac{H^2}{X} \cdot \frac{e}{M} \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

ஆகிய இரு சமன்பாடுகளைப் பெறலாம். (4) வது சமன்பாட்டி லிருந்து $\frac{e}{M}$ ன் குறிப்பிட்ட ஒரு அளவிற்கு, $\frac{y^2}{x}$ என்பது மாறுமலி ருக்கும் எனத் தெரிகிறது.

$$\frac{y^2}{x} = P \text{ (ஒரு மாறிலி ஆகும்)}$$

அதாவது $y^2 = Px$. இது பரவளையத்தின் சமன்பாடாகும்.

(3) வது சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{y}{x}$ ன் மதிப்பு v ன் மதிப்பினைப் பொருத்திருக்கிற தென்பதும் அயனியின் திசை வேகம் மாற மாற அயனி ஒளிப்படத் தகட்டில் மோதும் இடமும் மாறும் என்றும் அறியலாம். v ன் மதிப்பு எந்த அளவுக்கு அதிகரிக்கிறதோ அதற் கேற்றபடி விலக்கத்தின் அளவு குறைந்து, புள்ளி தொடக்கப் புள்ளிக்கு (origin) மிக அருகிலேயே அமையும்.

எனவே ஒரே $\frac{e}{M}$ மதிப்பும், ஆனால் வெவ்வேறு திசை வேகங் களும் கொண்ட பல்வேறு அயனிகள் ஒளிப்படத் தகட்டில் மோதும் இடங்களின் நியமப் பாதை (locus) பரவளையம் ஆக உருவங் கொள்ளும். இப் பரவளையம் சுவட்டின் (trace) ஆயத் தொலைவுகளை (Co-ordinates) அளந்து அவற்றுடன் தெரிந்த அளவுகளான $K, K' X, H$ ஆகியவற்றினையும் பின்வரும் சமன்பாட்டில் பயன் படுத்தி $\frac{e}{M}$ ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்.

$$\frac{e}{M} = \frac{y^2}{x^2} \cdot \frac{K}{K'^2} \cdot \frac{X}{H^2}$$

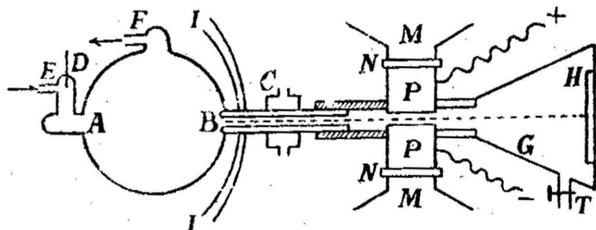
நேர்மின் கதிர்களில் ஒரே அளவு மின்னூட்டமும் ஆனால் வெவ் வேறு அளவினதான நிறையும் கொண்ட அயனிகள் இருப்பின் வெவ்வேறு பரவளையங்கள் கிடைக்கும். ஆனால் ஒரே நிறையும் வெவ்வேறு மின்னூட்டங்களும் கொண்ட அயனிகள் இருப்பினும் அவ்வாறே வெவ்வேறு பரவளையங்கள் கிடைக்கும். ஆனால் கிடைத்த பரவளையங்களைக் கூர்ந்து ஆராய்ந்தால் அவைகளுள்,

நிறை மாறுபாட்டினுல் விளைந்தவை எவை என்பதையும், மின்னூட்ட மாறுபாட்டினுல் விளைந்தவை எவை என்பதையும் அறியலாம். ஒளிப்படத் தகட்டில் பதிவு செய்யப்பட்ட பல பரவளையங்களில் நிறை தெரிந்த அயனி ஒன்றிற்குரிய பரவளையத்தினை இனங்கண்டு அறிந்து கொள்ளக்கூடுமாயின் அந்த ஒரு பரவளையத்துடன், மற்றப் பரவளையங்களை ஒப்ப நோக்கி மற்ற அயனிகளின் நிறையினைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். ஆனால், ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட மின்னூட்டத்தினுல் ஏற்படும் விளைவுகளை வேறுபடுத்தி அறிவதில் மிகுந்த கவனம் செலுத்துதல் வேண்டும்.

இந்த எளிய கொள்கையிலிருந்து இம் முறையினை நேர்மின் கதிர்களை ஆய்வதற்கான பரவளைய முறை என்று நாம் ஏன் கூறினோம் என்பதனை அறியலாம்.

செய்முறை :

தாம்சன் பயன்படுத்திய கருவி படம் 117-ல் விளக்கமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. சீராக மின்னிறக்கம் ஏற்படத்தக்கவாறு அமைந்த *A* என்னும் குடுவைதான் நேர்மின் கதிர்களை உண்டாக்கும் மின்னிறக்கக் குழாய். *B* என்னும் எதிர்மின் வாய்



படம் 117

குடுவையின் கழுத்துப் பகுதியில் அமைந்துள்ளது. அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்டுள்ள எதிர்மின் வாயின் முன் பக்கத்தின் மையத்தில் 1 மி.மீ. குறுக்களவுள்ள குறுகிய பித்தளைக் குழாய் ஒன்று புகுந்து செல்கிறது. பித்தளைக் குழாய் எதிர்மின் முனையின் தொடர்ச்சியாக விளங்குகிறது. எதிர்மின் முனை தண்ணீரால் சூழப்பட்டுக் குளிர்ச்சியாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. நேர்மின் முனையாகிய *D* ஓர் அலுமினியத் தண்டாகும். பொதுவாக இத் தண்டு சௌகரியத்திற்காகப் பக்கவாட்டில் அமைந்த ஒரு குழாயினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஆய்வுக்கு எடுத்துக்கொண்ட வாயு தொடர்ந்து வந்து கொண்டிருக்கும்படிச் செய்வதற்காக E என்னும் நுண் குழாய் (capillary tube) வழியே அவ் வாயு சீராகத் தொடர்ந்து, பாய்ந் தோடிக் கொண்டிருக்குமாறு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. வாயு A யில் சுற்றிய பின்பு F என்னும் பம்பின் (pump) வழியே வெளியேற்றப் படுகிறது. பம்பின் வேகத்தைத் தக்கவாறு அமைத்து மின்னி றக்கக் குழாயினுள் வேண்டிய அழுத்தம் நிலவுமாறு செய்து கொள்ளலாம். வழக்கமாக, 30,000 வோல்ட்டிலிருந்து 50,000 வோல்ட் வரையுள்ள மின்னழுத்தத்தில் மின்னிறக்கம் நிகழ்வதற்கு ஏற்ற வகையில் வாயுவின் அழுத்தம் சீர் செய்யப்பட்டிருக்கும். இந்த அதிக மின்னழுத்தத்தில் நேர்மின் அயனிகள் எதிர்மின் முனையை நோக்கிப் பாய்கின்றன. அவ்வாறு பாயும்போது பித்தளைக் குழாயின் அச்சுக்கு இணையாகச் செல்லும் அயனிகள், குழாயின் வழியே நேராகச் சென்று குறுகிய ஒரு கற்றையாக வெளியே வருகின்றன.

இக் கற்றை இணையாக அமைந்த மின்புலம், காந்தப்புலம் இவற்றிற்கு ஏககாலத்தில் கீழ்க்கண்டவாறு ஆட்படுத்தப்படுகிறது. ஆற்றல் மிக்க மின்காந்தம் ஒன்றின் MM என்னும் முனைகளுக் கிடையே, NN என்னும் மைக்காத் தகடுகளால் மின்காப்பிடப்பட்ட PP என்னும் இரு தேனிரும்புத் துண்டுகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இத்துண்டுகள் காந்தத்தின் முனைத் துண்டுகளாகவும் (pole pieces) அதே நேரத்தில் நிலை மின்புலம் (electrostatic field) ஏற்படுத்தும் அமைப்பாகவும் விளங்குகின்றன. PP என்னும் துண்டுகளிடையே தேவையான மின்னழுத்த பேதம் ஏற்படச் செய்து, நேர்மின் கதிர் களின் பாதையில் அமைந்த குறுகிய இடைவெளியில் விலக்கும் புலம் (deflecting field) ஒன்றினைப் பெறலாம். மேற்கூறிய காரணங் களினால் அதே இடைவெளியில், விலக்கும் காந்தப்புலமும் உண்டாகிறது.

இவ்வாறு ஒன்றுக் கொன்று இணையாகவும் ஆனால், கற்றை யின் பாதைக்கு நேர்க் குத்தாகவும் அமைந்த மின்புலம், காந்தப் புலம் ஆகியவைகளை நேர்மின் அயனிக் கற்றையின் மேல் செயல் படச் செய்யலாம்.

இப் புலங்களின் வழியே சென்ற கற்றை உயர்ந்த அளவுக்கு வெற்றிடமாக்கப்பட்ட G என்னும் ஒளிப்படப் பெட்டியினுள் சென்று H என்னும் ஒளிப்படத் தகட்டில் விழுகிறது. எதிர்மின் வாயில் பொருத்தப்பட்டுள்ள பித்தளைக் குழாயின் நீளத்தினாலும், அதில் அமைந்த துவாரத்தின் நுண்மையினாலும், வாயு மின்னி றக்கக் குழாயிலிருந்து ஒளிப்படப் பெட்டிக்குள் விரவிப் பரவாமல்

(diffuse) தடுக்கப்படுகிறது. எனவேதான் மின்னிறக்கக் குழாயில் நிலவும் அழுத்தம் ஒளிப்படப் பெட்டியினுள் உள்ள அழுத்தத்தோடு ஒப்பிடும்போது மிக அதிகம் என்றாலும், ஒளிப்படப் பெட்டியின் அழுத்தத்தை, T-ல் திரவக் காற்றினுள் (liquid air) அமிழ்த்தி வைக்கப்பட்டுள்ள கரியின் உதவியால் தொடர்ந்து குறையச் செய்து, மிகக் குறைந்த அழுத்த நிலையில் வைத்திருக்க இயலுகிறது. ஒளிப்படப் பெட்டியில் மிகுந்துள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் மோதுதல்களினால் நேர்மின் கற்றை பாதிக்கப்படக்கூடாதாகையால் இது விஷயத்தில் அக்கறை கொள்ளுதல் வேண்டும். பரவிய காந்தப்புலம், மின்னிறக்கத்தில் குறுக்கிடாது தடுக்க, காந்தத்திற்கும் மின்னிறக்கக் குழாயுக்கும் இடையே II என்னும் தேனிரும்புத் தகடுகள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒளிப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்க்க அதில் தொடர்ந்த பல பரவளைய வளைவுகள் காணப்பட்டன. அவ் வளைவுகளைக் கொண்டு நேர்மின் அயனிகளின் நிறையினைக் கணக்கிடலாம்.

பரவளைய வளைவுகளின் ஆய்வு :

எல்லாச் செய்முறைத் தேர்வுகளிலும், மிகுந்த எச்சரிக்கையாக இருந்தால் அல்லாது, போதிய அளவு ஹைட்ரஜன் புகுந்து ஒளிப்படத் தகட்டில் ஒரு பரவளைய வளைவை உண்டாக்கிவிடுகிறது. இந்த ஹைட்ரஜன் பரவளையத்தினை மூல அளவாகக் கொண்டு, ஆய்வுக்காக மின்னிறக்கக் குழாயினுள் செலுத்தப்பட்ட வாயுவுக்குரிய அயனிகளின் நிறையை, ஹைட்ரஜன் அயனியின் நிறை அளவில் (interms of mass of hydrogen ion) கீழே கூறியுள்ளவாறு கணக்கிடலாம்.

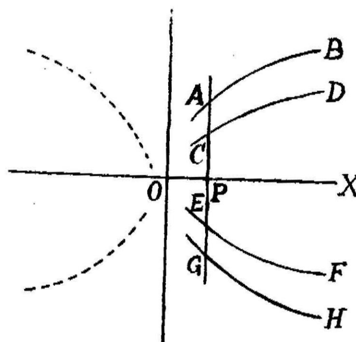


Fig. 118.

M என்னும் நிறை கொண்ட ஹைட்ரஜன் அயனியின் பரவளையம் வளைவு AB என்றும் நமக்குத் தெரியாத M' என்னும் நிறையும் ஆனால் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்தின் அளவே மின்னூட்டமுங்கொண்ட அயனிகள் CD என்னும் பரவளைய வளைவைத் தருவதாக வைத்துக் கொள்வோம். தனிமங்களுள் ஹைட்ரஜன் மிகவும் இலேசானதாகையால், மற்ற எல்லா வாயுக்களுக்கும் M' என்பது M-ஐவிட பெரிதாகவே இருக்கும், கனமான பொருள்களுக்குக் காந்த விலக்கம் குறைவாக இருக்கும். ஆகையால்

CD என்னும் பரவளைய வளைவு AB என்னும் பரவளைய வளைவிற்குக் கீழே அமைதல் வேண்டும். OX-லிருந்து வரையப்பட்ட OA போன்ற ஒரு குத்துக்கோடு இந்தப் பரபோலாக்களை வெட்டு கிறது.

$$\frac{\frac{e}{M}}{\frac{e}{M'}} = \frac{y^2/x}{y'^2/x} \quad \text{அல்லது} \quad \frac{M'}{M} = \frac{y^2}{y'^2} = \frac{PA^2}{PC^2}$$

ஆகவே, PA மற்றும் PC இவைகளை அளந்து M'-ன் மதிப்பினை M-ன் அளவில் கணக்கிடலாம்.

எனினும் OX என்ற கோட்டினை ஒளிப்படத் தகட்டில் காணுதல் இயலாது. ஆகையால் பாதிப் பதிவு நேர அளவிற்குப் பின்னர் காந்தப்புலத்தின் திசையை நேர்மாறாகத் திருப்பி ஒளிப் படத் தகட்டில் EF, GH என்னும் ஆடிப்படிம (mirror image curves) பிணை வளைவுகள் பெறப்படுகின்றன.

$$PA = \frac{GA}{2}, \quad \text{மற்றும்} \quad PC = \frac{EC}{2}$$

$$\text{எனவே} \quad \frac{M}{M'} = \left(\frac{GA}{EC}\right)^2 \quad \text{ஆகிறது.}$$

GA மற்றும் EC ஆகியவற்றை எளிதில் அளக்கலாம். இவ்வாறு எந்த ஒரு நேர்மின் அயனியின் நிறையினையும், ஹைட்ரஜன் அயனியின் M என்னும் நிறையின் அளவாகக் கூறிடல் இயலும்.

ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட மின்னூட்டங்களினால் ஏற்படும் விளைவுகள்:

ஹைட்ரஜன் அயனியின் நிறைமையுடன் ஒப்பிட்டு நிறை கண்டு பிடிக்கப்பட்ட அயனியின் மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்தின் அளவினதே என இதுவரை வைத்துக் கொண் டோம்—அதாவது ஒரு எலெக்ட்ரானை இழந்த அணுவால் ஏற் பட்டது எனக் கொண்டிருந்தோம்—ஒரு அணுவிலிருந்து மின்னி றக்கத்தின் மூலம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் பிரிக்கப் பட்டுப் பல மடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட (multiply ionised) துகள் உருவாகிறது. அப்போது e என்னும் மின்னூட்டத்தைப் போல் பல மடங்கு மின்னூட்டங் கொண்ட இத்தகைய துகள் (அயனி) அதே நிறையுடைய ஒரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய் யப்பட்ட துகளைவிட வேறான அளவில் விலக்கம் அடைகிறது. காட்டாக இரு மடங்கு மின்னூட்டங் கொண்ட துகள் ஒன்றினை

எடுத்துக்கொண்டால் அதன் விலக்கம் $\frac{2e}{M}$ ஐ பொருத்திருக்கும். அதாவது மின்னூட்டம் e ம் நிறை $\frac{M}{2}$ ம் உடைய துகளுக்கு என்ன விலக்கம் ஏற்படுமோ அந்த அளவு விலக்கம் உண்டாகும். இவ்வாறு இரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஆக்சிஜன் அணுக்கள் இருக்கின்றன. அவை ஒரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஆக்சிஜன் அணுக்கள் தரும் பரவளைய வளைவுகளைத் தொடர்ந்து, ஆக்சிஜனின் அணு நிறையில் பாதி அளவு நிறைக்குரிய இடத்தில் மங்கலான பரவளைய வளைவுகளைத் தருகின்றன.

ஒளிமிக்க பரவளையத்தின் உச்சிக்குப் பின்வருமாறு விளக்கம் தரப்படுகிறது. பல துகள்கள் மின்புலத்தில் நுழைவதற்கு முன்பே தங்களின் மின்னூட்டத்தை இழந்து (விலக்கம் ஏதுமின்றி) ஒளிப்படத் தகட்டில் O என்னும் ஆயத் தொடக்கப் புள்ளி (origin) யில் விழுந்து செறிவு மிக்கக் கருமை பரவச் செய்கிறது. இத் தகட்டின் நேர்ப்படிமப் படத்தில் (positive) பரவளையத்தின் உச்சியாய் அமைந்த ஆயத் தொடக்கப் புள்ளித் தெளிவாகத் தெரிகிறது.

தகட்டின் இடது பக்கத்தில் புள்ளிக் கோடுகளால் குறிக்கப்பட்டுள்ள மங்கலான பரவளையச் சுவடுகள் பின்வருங் காரணத்தினால் உண்டாகின்றன. மெல்லிய துளை அமைந்த எதிர்மின்வாயின் வழியே செல்லும்போது சில அயனிகள் எலெக்ட்ரான்களுடன் மோதி அவைகளைப் பிடித்துக் கொண்டு எதிர்மின்னூட்டங் கொண்டு விடுகின்றன. எனவே, அவை இயல்பான அயனிகளுக்குரிய கால்வட்டப் பகுதிக்கு எதிரே உள்ள பகுதியில் விலக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய சுவடுகள், கரி, ஆக்சிஜன், குளோரின் போன்ற மின்னெதிர்க் குறி (electro negative) தனிமங்களில் வழக்கமாகக் காணப்படுகின்றன.

விளைபயன்கள் :

தாம்சன் H_2, O_2, CO, CO_2, Ne போன்ற பல வாயுக்களை ஆய்ந்து பின்வரும் அரிய முடிவுகளைக் கண்டார்.

(1) ஹைட்ரஜன் அயனியின் நிறை :

ஹைட்ரஜனைப் பயன்படுத்தி அதன் பரவளையச் சுவடு ஒளிப்படத்தகட்டில் பதிவு செய்யப்பட்டது.

$$\frac{e}{M} = \frac{K}{K'^2} \quad \frac{X}{H^2} \quad \frac{y^2}{x}$$

என்னும் சமன்பாட்டில் $\frac{K}{K'^2}$ என்பதின் மதிப்பினைக் கருவியின் வடிவ அளவுகள், புலங்களின் அமைப்பு இவைகளைக் கொண்டும். $\frac{y^2}{x}$-ன் மதிப்பினைப் பரவளையச் சுவட்டிலிருந்தும் மதிப்பீடு செய்து X மற்றும் H இவைகளை அளந்து $\frac{e}{M}$ கணக்கிடப்பட்டது. இம் முறையில் 9571 மி. கா. அலகுகள் எனக் கணக்கிடப்பட்ட இம் மதிப்பு, மின்னாற் பகுப்பு முறையில் ஹைட்ரஜன் அயனிக்குக் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தது. இதனால் நேர்மின் கதிர்களில் ஒவ்வொரு அணுவிலிருந்தும் ஒரு எலெக்ட்ரான் வீதம் நீக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் இருக்கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. மேலும் பலமடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்களுக்குரிய பரவளைய வளைவுகள் காணப்படவே இல்லை, என்பதிலிருந்து ஹைட்ரஜன் அணுவில் இழப்பதற்கேற்ற ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் மட்டுமே உள்ளதென்பது தெரிகிறது. இம் முறையில் உண்டான (ஒரு எலெக்ட்ரானை இழந்த) ஹைட்ரஜன் அயனியைத்தான் புரோட்டான் (proton) என்கிறோம். ஹைட்ரஜன் அயனி எண் அளவில் e என்னும் அடிப்படை மின்னூட்டத்திற்குச் சமமான நேர்மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருப்பதால் தெரிந்த இம் மாறிலி (constant)யின் மதிப்பினை $\frac{e}{M}$ல் பதிலீடு செய்து M-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்.

$$e = 1{\cdot}59 \times 10^{-20} \text{ மி. கா. அலகுகள்}$$

$$\frac{e}{M} = 9571 \text{ மி. கா. அலகுகள்}$$

$$M = \frac{1{\cdot}59 \times 10^{-20}}{9571} = 1{\cdot}66 \times 10^{-24} \text{ கிராம்கள்}$$

(2) நிலையான ஐசோடோப்புகள் காணல் :

தனது கருவியில் நியான் (neon) வாயுவைப் பயன்படுத்தி, 20 நிறைக்குரிய ஒரு செறிவுமிக்க பரவளைய வளைவையும், 22 நிறைக்குரிய செறிவுமிகக் குறைந்த மற்றொரு பரவளைய வளைவையும், ஆக இரு பரவளைய வளைவுகளைப் பெற்றார். அவ்விரு சுவடுகளின் செறிவு விகிதம் எவ்வித மின்னிழப்பு மற்றும் அழுத்த நிலைகளிலும் 9 : 1 ஆகவே இருந்தது. இவ்வுண்மைகள், நியான் வேதியல் முறையில் பிரித்தறிய முடியாத இருவேறு நிறைகளுடன் இருக்கக் கூடுமென்பதைத் தெளிவாகக் காட்டின. இவ்விரு வகை அணுக்களின் ஒப்புமைச் செழிப்பினை (relative abundance)

—அதாவது 9 : 1 என்னும் விகிதத்தினை — மனதிற் கொண்டு நியானின் இரசாயன அணு எடையாகிய 20·2 என்பதைப் பெறுதல் கூடும்.

$$\frac{20 \times 9 + 22 \times 1}{10} = 20.2$$

எனவே இரசாயனத் தனிமமாகிய நியான் ஒரே குணங்களைக் கொண்ட, இரசாயன முறைகளின் மூலம் எளிதில் பிரிக்க இயலாத 20 மற்றும் 22 என்னும் நிறைகள் உடைய இருவகை அணுக்களின் கலவையாக இருத்தல் வேண்டும். இரசாயன முறையில் கணக்கிடப்பட்ட நியானின் அணு எடை மேற்கூறிய இருவகை அணுக்களின் புள்ளி விவர முறைச் சராசரி (statistical mean) ஆகும். அதாவது நியான் 20 மற்றும் 22 ஆகிய நிறைகள் கொண்ட இரு ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும். இதுதான் நிலையான ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்பதற்கான முதற் சான்றாக அமைந்தது. ஆஸ்டனும் ஜி. பி. தாம்சனும் லிதியம் (Lithium) வாயுவை ஆய்ந்தபோது 6 மற்றும் 7 நிறைக்குரிய, ஏறத்தாழ 1:10 என்னும் செறிவு விகிதம் (intensity ratio) கொண்ட இரு பரவளையச் சுவடுகளைப் பெற்றனர். இக் குறிப்புகளைக் கொண்டு சராசரி எடையைக் கணக்கிட்டபோது, அது இரசாயன முறையில் கண்ட அணு எடையாகிய 6·94 என்பதோடு பெரிதும் ஒப்ப இருந்தது.

பரவளைய முறையின் வரம்புகள் (Limitations of Parabola method):

(a) நேர்மின் கதிர்களை ஆற்றுப்படுத்தும் குறுகிய குழலில், அதிக அளவு கதிர்கள் வீணாகிவிட, ஒளிப்படம் எடுப்பதற்குக் கிடைக்கும் கதிர்களின் மொத்தச் செறிவு குறைந்துவிடுவதால் இம் முறை மிகத் துல்லியமான ஒன்று அல்ல. கற்றை பரவளையமாக விரிவடைவதால் இந்நிலை மேலும் மோசமாகிவிடுகிறது.

(b) தகட்டில் பதியும் சுவடுகள், ஒழுங்கான கங்குகள் (definite edges) இன்றி, கலங்கலாக இருக்கின்றன. இதனால் சரியாக அளக்க இயலாமல் போய்விடுகிறது.

(c) நேர்மின் அயனிகள் மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து ஒளிப்படப் பெட்டிக்குச் செல்லும் வழியில் ஏற்படும் தவிர்க்க இயலாத மோதுதல்களினால் உண்டாகும் இரண்டாம் நிலை (secondary) கதிர்களின் விளைவாக ஏற்படும் பரவலான மூட்டம் (fog), குழப்பந் தரும் பரவளையச் சுவடுகள் ஆகியவற்றால் சுவடுகளை ஆய்வது கடினமான ஒன்றாகிவிடுகிறது.

இத்தகைய குறைபாடுகள் இருப்பினும் கதிரியக்கமற்ற நிலையான தனிமங்களிலும் ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்பதைப் பரவளைய முறை தெளிவாகக் காட்டிற்று. இக் குறிப்பினை, மிகச் சிறந்த முறைகளைக் கொண்டு, ஐயத்திற் கிடமின்றி நிலை நிறுத்த வேண்டியதாயிற்று. அவ்வாறு செய்தால்தான் எடுத்துக்காட்டாக நியானின் தெளிவான பரவளையச் சுவடு உண்மையில் 20 நிறைக்குரியது--20·2 நிறைக்கு உரியதன்று—மங்கலான மற்றப் பரவளையம் உண்மையில் 22 நிறைகொண்ட ஐசோடோப்பிற்கு உரியது என்றாகும்.

ஆஸ்டன், தன்னுடைய நிறை நிறமாலை வரைவி (mass spectrograph) யைக் கொண்டு இதை நிலைநாட்டினார். அக் கருவியைப் பற்றி இங்குக் காண்போம்.

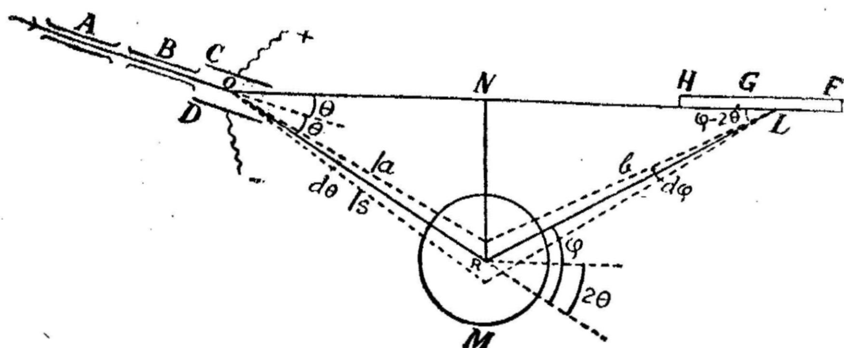
ஆஸ்டனின் நிறை நிறமாலை வரைவி

(Aston's Mass Spectrograph)

கொள்கை :

தாம்சன் செய்தது போல் காந்தப்புலத்தையும் மின்புலத்தையும் ஏககாலத்தில், இணையான திசைகளில் பயன்படுத்தாது, முதலில் மின்புலத்தையும், அதைத் தொடர்ந்து காந்தப்புலத்தையும் ஒன்றுக் கொன்று நேர்க்குத்தான திசைகளில் ஈடுபடுத்துவதே ஆஸ்டனின் முறையாகும். இதனால் மின்புலம் நேர்மின் கதிர்களை அவைகளின் வேகத்திற்கேற்றவாறு கூறுகளாக பிரிகை (dispersion) செய்கிறது. பிரிக்கப்பட்ட கூறுகளை, காந்தப்புலம் பிரிக்கப்பட்ட கதிர்களைப் பொதுவான குவியத்தில் சேர்க்கிறது. செம்மைப்படுத்தப்பட்ட இம் முறையில், தாம்சனின் முறையில் ஏற்பட்ட அயனிக்கற்றையின் பிரிகை அளவினைவிட அதிகப் பிரிகை ஏற்பட்டது முதற் பயனாகும். ஒரே $\frac{e}{M}$ மதிப்புடைய எல்லா அயனிகளையும் ஒரு பரவளையமாகப் பரவச் செய்வதைக் காட்டிலும் ஒரு புள்ளியில் குவியச் செய்து அதன் மூலமாக அதிக அளவு நுட்பம் பெறுவது—அதாவது ஒளிப்படம் எடுப்பதற்கான அதிகச் செறிவினைப் பெறுதல்—இரண்டாவது பயனாகும். இதனால் ஒளிப்படத்தகட்டில் இதற்கு முன்பு கூறிய முறையில் கிடைத்த கலக்கமான சுவடுகள்போல் அல்லாது தெளிவான சுவடுகளைப் பெறுவதற்கேற்ற வகையில் மிகச் சிறந்த பிளவுகளை (slits) பயன்படுத்தும் வாய்ப்பு உண்டாகிறது. இம் முறையினைத் திசை வேகக் குவியமுறை (velocity focusing method) என்றும் கூறலாம்.

இங்குக் காட்டப்பட்டுள்ள (படம் 119) விளக்கப்படத்தின் உதவியால் ஆஸ்டனின் செய்முறையின் கொள்கையினை எளிதில் அறிந்து கொள்ளலாம். மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து வருகின்ற நேர்மின் கதிர்கள் A, B என்னும் இணையான இரு பிளவுகளின் (slits) வழியே செலுத்தப்படுகின்றன. அங்குக் கதிர்கள் மெல்லிய கற்றையாக ஒரு வரிப்படுத்தப்படுகின்றன (collimated) இக் கற்றை C, D என்னும் தகடுகளுக்கிடையே நிலவும் X என்னும் குறிப்பிட்ட செறிவு கொண்ட மின்புலத்திற்கு ஆட்படுத்தப்படு கிறது. மின்புலம் அதனை அப்படியே D என்னும் எதிர்மின் முனைக்குத் திசை திருப்பிவிடுவதோடல்லாமல் ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் பிரிக்கவும் செய்கிறது. அயனிகள் வெவ்வேறு



படம் 119 (ஆஸ்டனின் நிறை நிறமாலை வரைவி)

வேகங் கொண்டனவாக இருப்பதே இப் பிரிவுக்குக் காரண மாகிறது. மிக விரைவாகச் செல்லும் அயனிகள் மின்புலத்தில் மிகக் குறைந்த நேரத்திற்கே இருப்பதால், மின்புலத்தைக் கடப் பதற்கு அதிக நேரம் எடுத்துக்கொள்ளும் மெதுவாகச் செல்லும் அயனிகளைவிட குறைந்த அளவே திருப்பப்படுகின்றன. இவ்வாறு கற்றை அயனிகளின் திசை வேகத்திற்கேற்ப ஒரு மின் நிறமாலை (electric spectrum) ஆக பரவுகிறது. இவ் விரிகற்றை S என்னும் பிளவினால் (slit) கட்டுப்படுத்தப்பட்ட பின்னர் படத்தின் பரப்பிற்கு நேர்க்குத்தாக, M என்னும் காந்த முனைகளுக்கிடையே நிலவும் காந்தப்புலத்தினுள் நுழைகிறது. காந்தப்புலம் H என்னும் சீரான செறிவும், கற்றையை மின்புலம் திருப்பிய திசைக்கு எதிர்த் திசையில் திருப்புவதற்கேற்ற குறியும் (sign) கொண்டது. இது கற்றையைத் திருப்புவதோடன்றி, குவியும் கற்றை (convergent) யாகவும் மாற்றுகிறது. மிக மெதுவாகச் செல்லும் அயனிகள், விரைவாகச் செல்லும் அயனிகளைவிட அதிக விலக்கம் அடை

கின்றன. எனவே காந்தப்புலத்தைவிட்டு வெளிவரும் கற்றை L என்னும் புள்ளியில் குவியச் செய்வதற்கு ஏற்றவாறு இருக்கிறது.

அவ்வாறு குவியச் செய்வதற்கான விதியினைப் பின்வருமாறு பெறலாம் : வெவ்வேறு திசை வேகங்களும் ஆனால் ஒரே $\frac{e}{M}$ மதிப்பும் கொண்ட அயனிகளை எடுத்துக்கொண்டு, எடுத்துக் கொண்ட அயனிகளின் தொகுதிக்கு θ மற்றும் ϕ என்பன முறையே மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் இவற்ருல் ஏற்படும் சராசரி திசைமாற்றக் கோணங்கள் (Angles of deviation) என்று கொள்வோம். மின்புலத்தினுல் ஏற்படும் பிரிகைக் கோணம் (Dispersion Angle) $d\theta$ என்றும் காந்தப்புலத்தினுல் ஏற்படும் பிரிகைக் கோணம் $d\phi$ என்றும் கொள்வோம். அயனிகளுக்கு நீள அளவில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி s என்றும் மின்புலத்தில் அவை செல்லும் பாதையின் நீளம் l என்றும் கொண்டால் $\theta = \frac{s}{l}$ ஆகும்.

$$\text{ஆனுல் } s = \frac{1}{2} \cdot \frac{Xe}{M} \cdot \frac{l^2}{v^2}$$

$$\therefore \quad \theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{Xe}{M} \cdot \frac{l}{v^2}$$

இவ்வாறே s' என்பது நீளவாக்கில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி (linear displacement) என்றும், l' என்பது அயனிகள் காந்தப் புலத்தில் செல்லும் பாதையின் நீளம் என்றும் கொண்டால் $\phi = \frac{s'}{l'}$ ஆகும்.

$$\text{ஆனுல் } \quad s' = \frac{1}{2} \, \frac{Hev}{M} \cdot \frac{l'^2}{v^2}$$

$$\therefore \quad \phi = \frac{1}{2} \, \frac{He}{Mv} \cdot l'$$

$$\text{இவற்றை } \quad \theta = C \, \frac{e}{Mv^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\phi = D \, \frac{e}{Mv} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

என எழுதலாம். இங்கு C மற்றும் D என்பன புலங்களின் வலிமை மற்றும் பரவியிருக்கும் தன்மை இவற்றைச்சார்ந்த மாறிலிகளைக் (constants) குறிக்கின்றன.

(1) ஐ பகுதி காணில் (Differentiating)

$$d\theta = -2C \frac{e}{Mv^3} \cdot dv$$

$$= -2\theta \cdot \frac{dv}{v}$$

$$\therefore \quad \frac{d\theta}{\theta} = -2 \frac{dv}{v} \text{ என்றும்}$$

(2) ஐ வகைக் கெழுபடுத்த,

$$d\phi = -D \frac{e}{Mv^2} \cdot dv$$

$$= -\phi \frac{dv}{v}$$

$$\frac{d\phi}{\phi} = -\frac{dv}{v} \text{ என்றும் ஆகிறது.}$$

$$\text{எனவே } \frac{d\theta}{\theta} = 2 \frac{d\phi}{\phi} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

கற்றை விரிவடையத் தொடங்குமிடமாக நினைத்துக் கொள்ளும், மின்புலத்தின் மையப் புள்ளியாகிய 'O', விரிகற்றை ஒருங்கத் தொடங்குமிடமாகிய காந்தப்புலத்தின் R என்னும் மையம் இவற்றிலேயே ஆற்றல் அத்தனையும் அடங்கி இருப்பதாகக் கொள்வோம். $OR = a$ மற்றும் $RL = b$ என்று வைத்துக் கொள்வோம். இங்கு L என்பது கற்றை குவிக்கப்படும் புள்ளியைக் குறிக்கிறது.

R என்னுமிடத்தில் கணக்கிடும்போது நாம் எடுத்துக் கொண்ட பகுதியின் அகலம் $ad\theta$ ஆகும். இப் பகுதி மேற்கொண்டு இன்னும் b என்னும் தூரம் சென்றால் இதன் அகலம் $(a+b)\,d\theta$ என விரிவாகும். இந்த விரிவினைத்தான் R-ல் இயங்கும் காந்தப் புலம் — படத்தில் தெளிவாகக் காட்டியுள்ளபடி — அழித்துக் கற்றைப் பகுதியை R என்னுமிடத்திலிருந்து b தூரத்தில் உள்ள L என்னும் புள்ளியில் குவியச் செய்கிறது.

அவ்வாறு குவியச் செய்வதற்கான விதிகள் பின்வருமாறு :

$$(a + b)\, d\theta = b \cdot d\phi$$

$$\frac{(a + b)}{b} = \frac{d\phi}{d\theta}.$$

$$= \frac{\phi}{2\theta} \text{ (சமன்பாடு 3-ல் இருந்து)}$$

அல்லது $$\frac{b}{a} = \frac{2\theta}{\phi - 2\theta}.$$

இக் கோவை மின்புலத்தால் திருப்பப்பட்ட கற்றையின் பாதையிலிருந்து 2θ கோண அளவில் சாய்ந்துள்ள O-ல் வரையப்பட்ட நேர்க்கோட்டினைக் குறிக்கிறது. இந் நேர்க்கோட்டினைப் பெற கற்றையின் பாதை OR-ல் இருந்து 2θ கோண அளவு சாய்ந்து R வழியே ஒரு கோடு வரைய, அதற்கு இணையாக O, வழியாக வரையப்படும் மற்றொரு கோடுதான் நமக்கு வேண்டிய கோடாகும். L என்னும் குவியம் இக் கோட்டில் அமைவதால், இக் கோட்டில் வைக்கப்பட்டுள்ள HF என்னும் ஒளிப்படத் தகட்டில் பதிவு செய்ய வழி உண்டாகிறது.

சமன்பாடு (4) ஐ நோக்கி ஆராய்ந்து ஒளிப்படத் தகட்டை வைப்பதற்கு ஏற்ற இடத்தைக் காணும் பொருட்டு :

(1) $\phi = 2\theta$ ஆனால் $b = \infty$ ஆக அமையும்—அதாவது குவியம் வெகு தொலைவில் இருக்கும்—அதாவது ஒளிப்படத் தகட்டினை வெகு தொலைவில் வைத்தல்வேண்டும். இது முடியாத ஒன்று.

(2) $\phi = 4\theta$ என்றால் $b = a$ ஆகும். அதாவது குவியம் ஒரு பொருத்தமான தூரத்தில் இருக்கும். எனவே ஒளிப்படத் தகட்டினைத் தக்க இடத்தில் பொருத்தி ஒருங்கு கற்றையின் குவியத்தினைப் பதிவு செய்யலாம்.

θ மற்றும் ϕ என்பன மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகிய புலங்களின் வலிமை மற்றும் இருக்கும் இடங்கள் ஆகியவற்றைப் பொருத்தன ஆதலின் மேற்கூறிய நிலையினைப் பெறுவதற்கான வகையில் புலங்களைத் தக்கவாறு அமைத்தல் கூடும்.

$GN = NO$ ஆக இருக்குமாறு அமையும் G என்னும் புள்ளி குறிக்கும் புள்ளியாய் (point of reference) அமைய ஏற்றது.

இங்கு N என்பது சமன்பாடு (4)ஐ குறிக்கும் கோட்டிற்கு R என்னும் புள்ளியிலிருந்து வரையப்பட்ட குத்துக் கோட்டின் பாதம் ஆகும். இங்கு ϕ என்பது 4θ க்குச் சமம். G என்னும் புள்ளியைக் கொண்ட ஒளிப்படத்தகடு ஆய்வுக்கு எடுத்துக் கொண்ட பகுதியைச் சேர்ந்த, ஒரே $\frac{e}{M}$ மதிப்புடைய அயனிகள் சுவடுகளை (traces) ஏற்பதோடு மட்டுமல்லாமல், நிறைகளை ஒப்பு நோக்குவதற்குத் தேவையான போதிய பெரும் பகுதியைச் சேர்ந்த, வெவ்வேறு $\frac{e}{M}$ மதிப்புடைய அயனிகளும் குவிவதற்கு ஏற்ற நிலையில் இருக்கிறது.

நேர்மின் கற்றையில் பல்வேறு $\frac{e}{M}$ மதிப்புகள் கொண்ட அயனிகள் இருப்பின் தக்க நீளங் கொண்ட ஒளிப்படத்தகடு பல சுவடுகளைப் பதிவு செய்யும். ஒவ்வொரு கோடும் ஒரு குறிப்பிட்ட $\frac{e}{M}$ மதிப்புடைய அயனிக்கு உரியதாகும். இம் முறையில் ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்பு அமைப்பினையும், தனிப்பட்ட ஐசோடோப்புகளின் நிறையினையும் ஆய்ந்து நுட்பமாக அறியலாம். ஒளி நிறமாலை வரைவி அலைநீளப் பிரிகை உண்டாக்குதல் போன்று இவ்வமைப்பு நிறைப் பிரிகை உண்டாக்குவதால் இது நிறை நிறமாலை வரைவி என்றழைக்கப்படுகிறது.

செய்முறை :

முதன் முதலில் 1919-ல் ஆஸ்டன் அமைத்த கருவி 130 மடங்கு பிரிதிறன் (resolving power) கொண்டதாகவும் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கினுக்குத் திருத்தமாக அளவிடும் நுட்பம் வாய்ந்ததாகவும் இருந்தது. இன்னும் அதிகப் பிரிதிறனும் மேலும் அதிக நுட்பமும் கொண்ட கருவியினைப் படைக்கும் எண்ணத்தில் 1927-ல் அவர் தன் கருவியில் மாற்றங்கள் செய்தார். அக் கருவியின் அமைப்பினை இங்குச் சுருங்கக் கூறுவோம். A, B என்னும் பிளவுகளின் (slits) அகலம் 0·02 மி.மீ. ஆகவும், பிளவுகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் 20 செ.மீ. ஆகவும் இருந்தது. இதன் மூலம் 20×10^{-4} ரேடியன் (Radian) உள்ள கற்றை கிடைத்தது. மின்புலம் நிலவச் செய்யும் C, D என்னும் தகடுகள் 20 செ.மீ. ஆரமுள்ளவைகளாக வளைக்கப்பட்டிருந்தன. அவற்றினிடைத் தூரம் 1·25 மி.மீ. ஆகவும், நீளம் 5 செ.மீ. இருந்தன. அவற்றின் இடையே உண்டாக்கிய 400 வோல்ட் மின் அழுத்த பேதம், 40 கி.வோ. கொண்ட அயனிக்கற்றையை 10° திருப்பப் போதுமானதாக

இருந்தது. M என்னும் மின் காந்தத்தின் முனைத் துண்டுகள் செவ்வக வடிவில் (5 × 15 செ.மீ) 3 மி.மீ. இடைவெளியுடன் 16,000 காஸ் (Gauss) காந்தப்புலம் உண்டாக்கக் கூடியனவாக இருந்தன. காந்தப்புலத்தில் கற்றையின் வளைவு ஆரம் (Radius of Curvature) சராசரியில் 22·5 செ.மீ. இருந்தது. HF என்னும் ஒளிப்படத்தகடு 15 செ.மீ. நீளம் கொண்டது. அதில் பதிவான சுவடுகள் 0·5 மி.மீ. அகலமிருந்தன. இப் புதுக் கருவி பிரிதிறன் 600-ம், 10,000-த்தில் ஒரு பாகத்திற்குத் திருத்தமாக அளவிடும் நுட்பம் உடையதாகவும் இருந்தது.

சுவடுகளை ஆய்தல் :

ஒளிப்படத்தகட்டில் சுவடுகளின் இடம், அவ்விடத்திற்குரிய $\frac{e}{M}$ ன் மதிப்பு இவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பினை ஆராய்ந்த ஆஸ்டன் $\frac{e}{M}$ ன் மதிப்பு, அடிப்படை புள்ளி (Fiducial spot) என்னும் ஒரு நிலையான புள்ளியிலிருந்து சுவட்டிற்கு உள்ள தூரத்தின் நேர்விகிதமாக இருப்பதை அறிந்தார். காந்தப் புலத்தின் மையப் புள்ளியாகிய R என்னும் புள்ளியில் இருந்து ஒளிப்படத்தகடு வைக்கப்பட்டுள்ள நேர் கோட்டிற்கு வரையப் பட்ட குத்துக் கோட்டின் பாதமாகிய N என்னும் புள்ளியிலிருந்து அந்நிலைப் புள்ளி ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தில் அமையவேண்டும். போகூழ் காரணமாக இவ் விகிதம் ஒருபடிச் சார்புடையதாக இல்லை. $\phi = 40$ ஆக இருக்கையில் இது ஓரளவு ஒருபடிச் சார் புள்ளதாக (Linear) காணப்படுகிறது. அடிப்படைப் புள்ளியின் (fiducial spot) இடத்தை அறுதியிடுவதற்குத் தேவையாய் விளங் கும் கருவியின் வடிவ அளவுகள், காந்தப்புலம், மற்றும் மின்புலம் இவைகளின் திட்பமான அளவுகள் தேவை. இவைகளைத் துல் லியமாக அறிவது கடினம். ஆஸ்டன் மேற்கூறியவற்றைச் சாராத பின்வரும் அனுபவ முறை (empirical method)யினைக் கொண்டு $\frac{e}{M}$ ன் மதிப்பினை அளவிட்டார்.

(1) நேர் முறை (Direct Method) :

நாம் அடைய விரும்பும் நுட்ப அளவின் அளவிலாவது நிறை தெரிந்த பொருட்களை, நிறை கண்டுபிடிக்க வேண்டிய ஐசோடோப்புகளைக் கொண்ட தனிமத்தோடு கலந்து இவை எல்லாவற்றிற்குமான சுவடுகளை (traces) ஒரே ஒளிப்படத்தகட்டில் பெறுதல் வேண்டும். நிறை தெரிந்த பொருளுக்குரிய சுவட்டின் தூரத்தைப் படத்தகட்டில் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட ஏதோ ஒருபுள்ளி

யில் இருந்து அளந்து பண்பறி வளைகோடு (calibration curve) ஒன்று வரைதல் வேண்டும். தேர்ந்தெடுத்த அப் புள்ளியிலிருந்து தெரியாத மற்றச் சுவடுகளின் தூரத்தைக் கம்பரேட்டரைக் (comparator) கொண்டு அளந்து பண்பறி வளைகோட்டில் அந் நீளங்களைப் பொருத்தி அவற்றிற்குரிய நிறைகளைக் கணக்கிடலாம். இம் முறை ஒரு நேர்முறையாகும் புலங்களின் மதிப்பினைப்பற்றிய சரியான விபரம் தேவை இல்லையென்பது இம் முறையில் உள்ள ஒரு இலாபமாகும்.

ஒருங்கமை முறை (Method of coincidence) :

திருப்பம் உண்டாக்கும் புலங்களை ஏற்றவகையில் கூட்டியோ குறைத்தோ தெரியாத நிறைக்குரிய சுவட்டினை, தெரிந்த நிறைக்குரிய சுவட்டின்மேல் பொருந்துமாறு ஒருங்கமைப்பதுதான் இம் முறையாகும். தெரியாத M' என்னும் நிறையை, தெரிந்த M என்னும் நிறையின் அளவாகக் கணக்கிட விரும்புவதாக வைத்துக் கொள்வோம். X மற்றும் H என்னும் வலிமையுடைய புலங்களைப் பயன்படுத்தி M என்னும் நிறை கொண்ட அயனிகளின் நிறை நிறமாலை சுவட்டினை ஒளிப்படத்தகட்டில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் பதிவு செய்யவேண்டும். பின்னர் நிறை அறியக் வேண்டிய அயனிகளைக் கருவியினுள் செலுத்தி, தெரிந்த நிறைக்குரிய (முன்பு பதிவு செய்த) சுவட்டின் மேல் நிறை தெரியாத அயனிகளுக்குரிய சுவடு விழுமாறு புலங்களின் வலிமையை X' மற்றும் H' ஆக மாற்றுதல் வேண்டும். இவ்வாறு செய்தால் இவ்விரு கதிர்களின் பாதையும் ஒன்றாக அமையும். எனவே,

$$\theta = \frac{1}{2}\frac{Xe}{Mv^2}\cdot l = \frac{1}{2}\frac{X'e}{M'v'^2}\cdot l$$

$$\therefore \quad \frac{X}{X'} = \frac{Mv^2}{M'v'^2}$$

$$\text{மேலும் } \varphi = \frac{1}{2}\frac{He}{Mv}\cdot l' = \frac{1}{2}\frac{H'e}{M'v'}\cdot l'$$

$$\therefore \quad \frac{H'}{H} = \frac{M'v'}{Mv}$$

$$\text{எனவே, } \frac{X}{X'}\cdot\frac{H'^2}{H^2} = \frac{Mv^2}{M'v'^2}\cdot\frac{M'^2v'^2}{M^2v^2}$$

$$= \frac{M'}{M}$$

மேற்கண்ட நிலையினை அடைய, மின்புலம் அல்லது காந்தப் புலம் இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றை தக்கவாறு மாற்றி அமைத் தாலே போதும். காந்தப்புலத்தைச் சரியாக அளப்பதோ மறுபடி யும் சரியாக பழைய அளவுக்குக் கொண்டு வருவதோ முடியாது. ஆகையால், நடைமுறையில் காந்தப்புலத்தை மாற்ருது அப் படியே வைத்துவிட்டு, மின்புலத்தை மட்டும், சுவடுகள் ஒன்றின் மேல் ஒன்று பொருந்தும்படி கூட்டியோ குறைத்தோ சரி செய் கிருர்கள்.

$$\text{இப்போது } \frac{M'}{M} = \frac{X}{X'} \text{ ஆகும்.}$$

X, X', மற்றும் M ஆகியவற்றின் தெரிந்த மதிப்புகளை வைத்து M ஐ மதிப்பீடு செய்யலாம்.

நிறைக்கும் இடப் பெயர்ச்சிக்கும் இடையே உள்ள கொள்கை வழி அறிவோ (theoretical knowledge) அல்லது செய்து தெளியும் வழி அறிவோ (empirical knowledge) இம் முறைக்குத் தேவை இல்லை. பண்பறி வளைகோடு வரையும் தொல்லையும் இல்லை. என்பதும் ஒரு பெரு நன்மையே ஆகும். என்ருலும் இம் முறையில் பின்வரும் குறைகளும் உண்டு.

(1) இரண்டு சுவடுகளையும் பதிவு செய்யும் இடை நேரத்தில் காந்தப்புலத்தில் ஏற்படக்கூடிய சிறு மாறுதல்களும் பிழையான முடிவுகளைத் தருகின்றன.

(2) இரு சுவடுகளின் செறிவு வேறுபாடுகள் நடைமுறையில் சில இடர்ப்பாடுகளைத் தருகின்றன.

இத்தகைய குறைபாடுகள் இருப்பினும் இம் முறை மற்ற நுட்பம் மிகுந்த முறைகளுக்கு அடிப்படை வகுத்தது.

பயனுறு நிறையிலிருந்து (Effective Mass), உண்மைப் பொருண்மையினைக் (Actual Mass) கணக்கிட்டறிதல் :

சுவடுகளை மேற்கூறிய முறைகளில் ஆராயும்போது அயனியின் பயனுள்ள பொருண்மை—அதாவது $\frac{e}{M}$ மதிப்புதான் கிடைக் கின்றது. அதன் உண்மைப் பொருண்மையினைக் காணவேண்டு மாயின் அயனியின் அயனியாக்க நிலையினை (degree of ionisation) நோக்குதல் வேண்டும். இரு மடங்கு அயனியான ஒரு துகள்—அதாவது இரு எலெக்ட்ரான்களை இழந்து அதனுல்

இரு நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட துகள் — அதன் உண்மைப் பொருண்மையில் பாதியளவுள்ள பயன்தரு பெருண்மை யையும், மூன்று நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட துகள் அதன் உண்மைப் பொருண்மையில் மூன்றில் ஒரு பங்கு பயன்தரு பொருண்மையும், இது போலவே மற்ற மற்ற அயனிகளின் உண்மைப் பொருண்மைகளும் அமையும். எனவேதான் நிறை நிறமாலை பற்றிய கல்வியில் முதல் இடச் சுவடுகள், இரண்டாமிடச் சுவடுகள், மூன்றாமிடச் சுவடுகள் என்று குறிப்பிடுகிறோம்.

அநேக மூலகங்கள் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களையும், சில மூன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்களையும் இழக்கக் கூடியன. பாதரசம் (*Hg*) எட்டு எலெக்ட்ரான்களை இழக்கக் கூடியது.

விளைபயன்கள் :

ஆஸ்டன் தனது நிறை நிறமாலை வரைவியைக் கொண்டு பல்வேறு தனிமங்கள் வாயுக்கள், உலோகங்கள் ஆகியவற்றின் நேர்மின் கதிர்களை உண்டாக்கி அவற்றை ஆய்ந்து நூற்றுக்கு மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மையைக் கணக் கிட்டார். முதலில் *Hg*, *Pb*. *Mo*, *Os*, *U*, *Te*, போன்ற கனமான தனிமங்கள் ஆய்வு செய்யப்பட்டன. அவ் வாய்வினால் விளைந்த முடிவுகள் பின்வருவனவாகும்.

(i) நியானுக்குக் குறைந்தது இரு ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்னும் தாம்சனின் கருத்தினை ஆஸ்டன் உறுதி செய்தார். நியானைக் கொண்டு 20 மற்றும் 22 ஆகிய பொருண்மைகளுக் குரிய தெளிவான இரு சுவடுகளை அவர் பெற்றார். அவருடைய கருவி 20·2 என்னும் பொருண்மைக்குரிய சுவடு ஒன்று இருப் பின் அதைப் பதிவு செய்யுமளவுக்கு நுட்பத்தன்மை கொண்டது. எனினும், அப்படிப்பட்ட சுவடு ஏதும் அவருக்குக் கிடைக்க வில்லை. கிடைத்த இரு சுவடுகளின் ஒப்புச் செறிவு (relative intensity) அளவிட்டு அவ்விரு ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பினை (relative abundance) கண்டபோது 90·4 : 9·6 என்னும் விகிதத்தில் அமைந்திருப்பது தெரிந்தது. நிலையான தனிமங்களில் ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்பதை நியானைக் கொண்டு மட்டுமல்லாது மற்றும் பல இரசாயன தனிமங்களைக் கொண்டும் நிலைநாட்டினார். அவற்றில் பல இரண்டிற்கு மேற் பட்ட ஐசோடோப்புகளை உடையன.

(ii) மின்னூட்ட மற்ற நிலையில் உள்ள ஆக்சிஜன் அணுவின் பொருண்மையில் 16-ல் ஒரு பங்கினைப் பொருண்மை அலகாகக்

(mass unit) கொண்டு, ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மையைக் கூறின் அவை ஓரளவு முழு எண்களாக இருந்தன என்பது ஒரு சிறந்த கண்டுபிடிப்பாகும். அணுவின் உள்ளார்ந்த அமைப் பிணைப் (intrinsic constitution) பற்றிய வகையில் 'முழு எண் விதி' (whole number rule) என்பது பெருஞ் சிறப்புடைய ஒன்றாகும். இவ் விதியினை விளக்குவதற்குக் குளோரின் ஏற்ற ஒரு எடுத்துக் காட்டாகும். அதன் இரசாயன அணு எடை 35·46 என்பது முழு எண் அல்ல. அதற்கு 35 மற்றும் 37 என்னும் பொருண்மை களைக் கொண்ட இரு ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்பதைப் பொருண்மை நிறமாலை ஆய்வுகள் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன. அவ்விரு ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு 76 : 24 என்னும் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

(iii) முழு எண் விதியிலிருந்து, குறைந்த அளவில் ஆனால் ஒரு வரையறைக்குட்பட்ட, மாறுபாடு ஒவ்வொரு தனிமத்திலும் ஏற்படுவதை ஆஸ்டன் துல்லியமாக அளவிட்டார். இம் முடிவு மேற்கூறிய எல்லாவற்றையும்விட சிறப்புமிக்க ஒன்றாகும். 'நிறைக் குறை' (mass defect) என்னும் ஓர் அளவினைக் கொண்டு விளக்கப் படும் இவ் வுண்மை, அணுப் பௌதீகத்தின் பல சிக்கல்களுக்குத் தீர்வு காண்பதில் பெருமளவு பயன்படுகிறது.

ஆஸ்டன்-பொருண்மை நிறமாலை வரைவியின் வரம்புகள் (Limitations of Aston's Mass spectrograph) :

(1) $\phi = 40$ ஆக இருக்கும்போது மட்டும், சுவட்டின் இடத் திற்கும் அயனியின் பொருண்மைக்குமிடையில் ஓரளவு ஒருபடிச் சார்பு காணப்படுகிறதென்றாலும், பொதுவாக ஒருபடிச் சார்பு காணப்படவில்லை.

(2) சமச்சீர் அமைவற்ற (asymmetric) படிமங்களின் விளை வாக நுட்பமாக அளவிடுவது கடினமாயிற்று.

(3) மின்புலத்தின் மின் முனைகளில் ஏற்படும் முனைவு நிகழ்வு (polarisation) காரணமாகச் சுவடுகள் நேராக இல்லாமல், சற்றே வளைந்து காணப்படுகின்றன.

டெம்ப்ஸ்டரின் நிறை நிறமாலை வரைவி

(Dempster's Mass Spectrograph)

1918-ல் சிக்காகோவில் (Chicago) உள்ள ரெயிர்சன் பௌதிக ஆய்வுச்சாலையில் (Ryerson Physical Laboratory) திண் பொருள்கள் ஆய்வதற்கேற்ற ஒரு நிறமாலை வரைவியினை

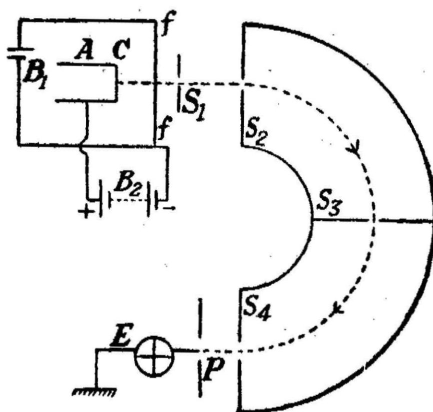
டெம்ப்ஸ்டர் என்பார் உருவாக்கினர். 1922-ல் அதில் சில மாற்றங்கள் செய்து செம்மைப்படுத்தினர்.

கொள்கை :

நேர்மின் அயனிகள் எல்லாம் ஒரே மின்னழுத்த வேறுபாட்டால் (P.D.) முடுக்கமுறப்பட்டு ஆகவே ஒரே வேகங் கொள்ளுமாறு செய்யப்பட்டால், அவற்றின் பொருண்மையை ஆய்வதற்குக் காந்தப்புலம் மட்டும் போதுமானதாகும். முடுக்கும் மின்புலம் தருகின்ற வேகத்துடன் ஒப்பிட அயனிகள் பிறக்கும்போது அவைகளுக்கு ஏற்படும் வேகம் (மிகமிகக் குறைவு) இல்லையென்றே கொள்ளலாம். எனவே இம் முறையில் முடுக்கம் தர மின்புலம் உதவுகிறது என்றாலும் திருப்பம் ஏற்படுத்தப் பயன்படுவது காந்தப்புலம் மட்டுமே ஆகும்.

கருவி :

படம் 120-ல் செய்முறை அமைப்பு வகையாகக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஆய்வுக்கான தனிமத்தின் உப்புப் பூசப்பட்ட C என்னும் முன்பக்கத்தைக் கொண்ட—மின் முறையில் வெப்பப் படுத்தப்படும் A என்னும் உலோக உருளையே நேர்மின் முனையாகும். B_1 என்னும் மின்கல அடுக்கு (battery) ஒன்றால் வெப்பப்



படம் 120

படுத்தப்பட்ட ff என்னும் இழை (filament) எலெக்ட்ரான்களை வெளியிடுகிறது. B_2 என்னும் வேறொரு மின்கல அடுக்கினைக் கொண்டு இழையினை (ff) A ஐ காட்டிலும் 30 முதல் 60 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் வைக்கும்போது, வெப்பமுற்ற உப்பினை எலெக்ட்ரான்கள் தாக்கி மோத அதன் விளைவாக

நேர்முனை அத் தனிமத்தின் நேர்மின் அயனிகளை வெளிவிடுகிறது. இந்த அயனிகள் S_1 என்னும் பிளவினால் ஒருவரிப்படுத்தப்பட்டு (collimated) மெல்லிய கற்றை ஆகிப் பின்னர் S_1 மற்றும் S_2 ஆகிய பிளவுகளுக்கிடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினால் (800 முதல் 2000 வோல்ட் வரை) S_2 என்னும் பிளவினை நோக்கி முடுக்கப்படுகின்றன. ஏறக்குறைய ஒரே வேக அளவிற்கு முடுக்கப்பட்ட அயனிகள் தாளின் (படத்தின்) பரப்பிற்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படும் இரு அரைவட்ட வடிவுடைய, இரும்பினாலான காந்த முனைத் துண்டுகளிடையே நிலவும், சீரான வலுமிக்கக் காந்தப்புலத்தில் நுழைகின்றன. இக் காந்தப்புலத்தின் தன்மையினால் அயனிகள் S_2, S_3 மற்றும் S_4 ஆகிய பிளவுகளால் அமையப்பெற்ற அரை வட்டப்பாதை வழியாக வீசப்படுகின்றன. S_4 ஐ கடந்த பின்னர் அயனிகள் P என்னும் உலோகத் தகட்டில் விழ அது நேர் மின்னூட்டங் கொள்கிறது. E என்ற கால்வட்ட எலெக்ட்ரா மீட்டருடன் (quadrant electrometer) இத் தகட்டை இணைத்து மின்னூட்டங் கொள்ளும் வேகத்தினை (rate) கணக்கிடலாம். பின்னர் செய்த அமைப்பில் கால்வட்ட மின் அளவிக்குப் பதிலாக வில்சனின் தங்க இலை மின்காட்டி (Wilsons gold leaf electroscope) யையும் ஈடுசெய்யும் சாதனம் ஒன்றையும் பொருத்தினார். அயனிகளின் மூலம் P என்னும் தகட்டிற்குக் கொண்டு செல்லப்படும் நேர்மின்னோட்டம், பழைய ரேடியம் குழல் ஒன்றில் அயனியாக்கம் காரணமாக வெளிவரும் எதிர்மின்னோட்டத்தைக் கொண்டு சமன் செய்யப்படுகிறது. இந்த எதிர்மின்னோட்டத்தின் அளவினைத் துல்லியமாக அளவிடல் இயலும். இவ் வமைப்பில் சமநிலை எப்போது ஏற்படுகிறது என்பதைக் காட்டுதற்கு மட்டுமே மின்னளவு காட்டி பயன்படுகிறது.

ஐசோடோப்புகளின் நிறையைக் கணக்கிடல் :

S_1 மற்றும் S_2 இவைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V என்றும், காந்தப்புலத்தின் செறிவு H என்றும் காந்தப் புலத்தில் அயனி செல்லும் S_2, S_3 மற்றும் S_4 ஆகியவற்றைக் கொண்ட வளைவுப் பாதையின் ஆரம் r என்றும் கொள்க.

அயனிகள் உண்டாகும் முறையினால் அயனிகளின் ஆற்றல் அளவில் முதலில் காணப்படும் வேறுபாடுகளைத் தள்ளிவிடுவோம். M என்னும் பொருண்மையும், e என்னும் மின்னூட்டமும் அயனிக் கற்றையில் உள்ள மற்ற அயனிகளைப் போலவே v என்னும் வேகமும் கொண்ட அயனி ஒன்று காந்தப்புலத்தில் நுழையும் போது அதன் ஆற்றலை,

$$\frac{1}{2} Mv^2 = eV \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்று குறிப்பிடலாம். அயனி காந்தப்புலத்தில் அடையும் வளைவினை,

$$Hev = \frac{Mv^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

என்பதால் விளக்கலாம். (2)-ல் இருந்து,

$$\frac{e}{M} = \frac{v}{Hr} \text{ என்பது கிடைக்கிறது.}$$

(1) ஐயும், (2) ஐயும் பயன்படுத்தி v ஐ நீக்க,

$$Hev = \frac{Mv^2}{r} = \frac{2eV}{r} \text{ என ஆகும்.}$$

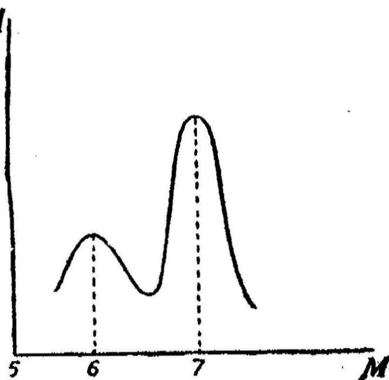
$$\therefore \quad v = \frac{2V}{Hr}$$

$$\therefore \quad \frac{e}{M} = \frac{2V}{H^2r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

இதிலிருந்து வெவ்வேறு பொருண்மை உடைய அயனிகளை S_4 என்னும் பிளவுக்குக் கொண்டுவர V என்னும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினையோ, H என்னும் காந்தப்புலத்தின் செறிவினையோ சரி செய்யலாம். ஏனெனில் r என்பது ஒரு மாறுத அளவாகும். காந்தச் செறிவினைச் சரியாக அளக்க இயலாது. எனவே அதை மாறுமல் வைத்துவிட்டு V என்னும் மின்னழுத்த வேறுபாடு மாற்றப்படுகிறது. P என்ற தகட்டை அடையும் I என்னும் அயனி மின்னேட்டத்தை மின் அளவிக் கருவியைக் கொண்டோ அல்லது ஈடு செய்யும் முறையிலோ அளந்து அதற்கும் V என்னும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குமாகப் புள்ளிகளைக் குறித்து வரைப்படம் (graph) வரைந்தால் கூரிய உச்சிகளைக் (sharp maxima) கொண்ட வளைகோடு ஒன்று கிடைக்கிறது. ஒவ்வொரு உச்சியும் ஒரு குறிப்பிட்ட $\frac{e}{M}$ மதிப்பினுக்கு உரியதாகும். கருவியின் மாறுத அளவுகளைக் கொண்டும், தெரிந்த அயனிகளைப் பயன்படுத்தியும், ஒவ்வொரு உச்சியும் எந்தெந்த அயனிகளுக்குரியது என்பதைக் கண்டுபிடிக்கலாம். பல்வேறு உச்சிகளுக்குரிய V-ன் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 3-ல் பயன்படுத்தி அயனிகளின் பொருண்மையைக் கணக்கிடலாம்.

விளைபயன்கள் :

இம் முறையில் லிதியத்திற்கு, டெம்ப்ஸ்டர் வரைந்த வரைப் படம் படம் 121-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இங்கு இரு உச்சிகள் உள்ளன. ஒன்று பொருண்மை 6-க்கு உரிய மின்னழுத்த வேறு பாட்டிலும், மற்றது பொருண்மை 7-க்கு உரிய மின்னழுத்த வேறு பாட்டிலும் காணப்படுகின்றன. எனவே, லிதியம் 6 மற்றும் 7 என்னும் பொருண்மைகளைக் கொண்ட இரு ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. இரசாயன அணு எடை ஆகிய 6·94 ஐ பொருண்மையாக உடைய அணுக்களுக்கான அறிகுறியே காணப்படவில்லை. இது போன்றே டெம்ஸ்டர் Mg, *Ce*, *Zr*, *K* ஆகிய வற்றை ஆய்ந்து அவைகளும் ஐசோடோப்புகள் பெற்றிருப்பதைக் கண்டார். அந்த ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மை கூடியவரையில் பொருண்மை அலகின் முழு எண் மடங்குகளாகவே இருந்தன. எடுத்துக்காட்டாக மெக்னீஷியம் (Mg) 24, 25, 26 ஆகிய பொருண்மைகளைக் கொண்ட மூன்று ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டிருந்தது. துத்தநாகம் (*Zn*) 63, 65, 67, 69 என்னும் பொருண்மைகள் கொண்ட நான்கு ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டிருந்தது. வரைப்படத்தில் உச்சிகளின் உயரங்கள் ஆய்வுக்கு எடுத்துக் கொண்ட தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு விகிதத்தைக் குறிக்கின்றன. இக் கருவியில் ஒளிப்பட முறை மூலம் அல்லாது மின்னியல் முறையில் அயனிகளைக் கண்டு பிடிப்பதால் ஒப்புமைச் செழிப்பின் அளவினை மதிப்பிடுதல் ஆஸ்டனின் முறையைவிட மிக எளிதாக இருக்கிறது.



படம் 121. லிதியத்தின் நிறை நிறமாலை

முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தம் தருகின்ற வேகத்தோடு ஒப்பிடும்போது தள்ளிவிடத்தக்க அளவு குறைந்த வேகத்தில் அயனிகள் உண்டாக்கப்படுதல் வேண்டும் என்னும் உண்மை, இக் கருவியின் பயனுக்கு ஒரு வரம்பு உண்டாக்கிவிடுகிறது. முதலில் செய்த மாதிரிக் கருவியின் பிரிதிறன் (resolving power) 100 என்னும் அளவில் குறைவாக இருந்தது. பின்னர் வந்த செம்மைப்படுத்தப்பட்ட அமைப்புகள் 50-க்குக் குறைவான

அணு எடை கொண்ட தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளையும் பிரித்துக்காட்டும் திறன் பெற்றிருந்தன.

பெயின்பிரிட்ஜின் நிறை நிறமாலை வரைவி
(Bainbridge's Mass Spectrograph)

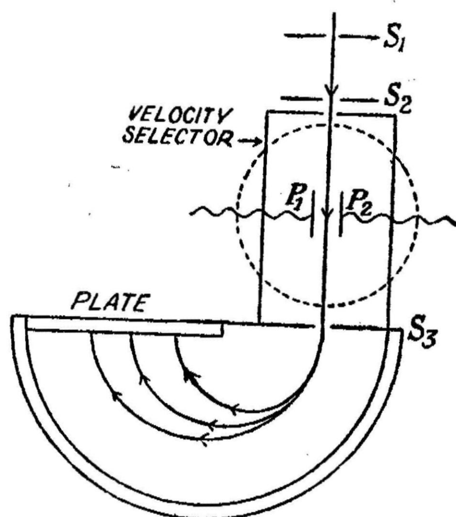
1930-ல் பிரங்க்ளின் விஞ்ஞானக் கழகத்தைச் (Franklin Institute) சேர்ந்த பார்ட்டல் ஆராய்ச்சி நிறுவனத்தில் (Bartel research foundation) பணிபுரிந்து, டெம்ப்ஸ்டர் கருவியின் அமைப்பினை ஒத்த, கனமான தனிமங்களை ஆய்வதற்கேற்ற, வேறுபடுத்திக் காட்டும் திறன் அதிகமுடைய ஒரு கருவியைப் பெயின்பிரிட்ஜ் உருவாக்கினார். பின்னர் 1933-ல் வேகப் பொருக்குக் கொள்கை அல்லது வேக வடிகட்டிக் கொள்கை (principle of velocity selector or velocity filter) என்னும் புதிய தோர் கொள்கையின் அடிப்படையில் அதைத் திருத்தி அமைத்தார். அதைக் கொண்டு டெம்ப்ஸ்டரைவிட அதிகமான வேறுபடுத்திக் காட்டும் திறனைப் பெற்றதோடு அல்லாமல் ஆஸ்டன் தன் கருவியைக் கொண்டு அடைய முடியாத சமச்சீரமைவுடைய படிமங்களையும் (symmetric images), ஒருபடிச் சார்புடைய பொருண்மை அளவினையும் பெற்றார்.

காந்தப்புலத்தின் உதவியால் அரைவட்டப் பாதையில் செலுத்தப்பட வேண்டிய அயனிகள், காந்தப்புலத்தில் நுழைவதற்கு முன்பு—உண்டாக்கும் முறையினால் அயனிகளின் ஆரம்ப வேகங்கள் எவ்வாறு வேறுபட்டிருந்தாலும்—வேக வடிகட்டி (velocity filter) என்னும் ஒரு புது அமைப்பின் உதவியினால் ஒரே வேகமுடையனவாக மாற்றப்படுகின்றன.

கருவி :

இக் கருவியின் விளக்கப்படம் (படம் 122) இங்குக் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு மின்னிறக்கக் குழலில் உண்டாக்கப்பட்ட அயனிகள் S_1 மற்றும் S_2 என்னும் பிளவுகளால் ஒரு வரிப்படுத்தப்பட்டு, வேக வடிகட்டி (velocity filter) வழியே செலுத்தப்படுகின்றன. இவ் வடிகட்டிப் பக்கவாட்டில் அமைந்த மின்புலத்தையும், படத்தின் பரப்பிற்குச் செங்குத்தாக அமைந்த காந்தப்புலத்தையும் கொண்டது. P_1 மற்றும் P_2 என்னும் தகடுகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை நிலவச் செய்து மின்புலமும், படத்தில் புள்ளிக்கோட்டு வட்டத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ள மின் காந்தத்தினால் காந்தப்புலமும் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அவ்விரு

புலங்களும், அவை ஏற்படுத்தும் திருப்பங்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிரானவையாக இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 122

X என்பது மின்புலத்தின் வலிமை என்றும் H என்பது S_2, S_3 என்பவைகளுக்கிடையே உள்ள காந்தப்புலத்தின் செறிவு என்றும் கொண்டால் $Xe = Hev$ அல்லது $v = \frac{X}{H}$ ஒரே வேகங் கொண்ட அயனிகள் மட்டுமே வடிகட்டியைக் கடந்து நேராகச் செல்லும் ஒன்றை ஒன்று எதிர்க்கும் இவ்விரு புலங்களின் சமப்படுத்தப் படாத் தன்மையினுல் மற்ற அயனிகள் எல்லாம் நேர்க்கோட்டை விட்டு விலக்கப்பட்டு S_3 என்னும் பிளவை அடைவதனின்றும் தடுக்கப்படுகின்றன.

வடிகட்டியின் பின்வாயில் அமைந்த S_3 என்னும் பிளவி லிருந்து ஒரே வேகத்தோடு வெளிவரும் அயனிகள் சீரான, H' என் னும் செறிவு கொண்ட, படத்திற்குக் குத்தான திசையில் அமைந்த காந்தப்புலத்தை அடைகின்றன. இங்கு $H'ev = \frac{Mv^2}{r}$ என்னும் சமன்பாட்டினுல் பெறப்படும் வட்டப் பாதைகளில் செல்லுகின்றன. இச் சமன்பாட்டில் M என்பது r என்னும் ஆரமுடைய வட்டப்

பாதையில் செல்லும் அயனியின் பொருண்மையைக் குறிக்கும். மேற்கூறிய சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\frac{e}{M} = \frac{v}{H'r} = \frac{X}{H.H'.r.}$$

எனத் தெரிகிறது. vயும் H'ம் மாருத எண்கள் ஆகையால் $\frac{e}{M}$ ன் மதிப்பு $\frac{1}{r}$ ன் நேர்விகிதமாகும்.

எனவே அரைவட்டப் பாதை வழி சென்ற பின்பு, அயனிகளை ஒளிப்படத்தகட்டில் விழச் செய்தால், அவை, அவைகளின் $\frac{e}{M}$ மதிப்புக்குத் தக்கவாறு வெவ்வேறு இடங்களை அடையும். r என்னும் ஆரம் $\frac{M}{e}$ க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஆகவே ஒளிப்படத் தகட்டில் சுவடுகள் கிடைக்கும். அச் சுவடுகளின் தூரங்கள் அவ்வச் சுவடுகளை உண்டாக்கிய அயனிகளின் பொருண்மையைப் பொருத்திருக்கும். M என்பது rக்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதால் பொருண்மை அளவு ஒருபடிச் சார்புடையது என்பது தெற்றென விளங்கும்.

திருப்பமுண்டாக்கும் காந்தப்புலத்தின் ஆற்றலையும், பரப்பினையும் பொருத்து இதன் நுட்பத்தன்மை அமையும். பெயின் பிரிட்ஜ் 15,000 காஸ் செறிவும் 40 செ. மீ. விட்டமுடைய அரைவட்டப் பரப்புமுடைய மிகப் பெரிய காந்தப்புலத்தைப் பயன் படுத்தி ஆஸ்டன் கருவியின் வேறுபடுத்திக் காட்டுந் திறனைவிட அதிக வேறுபடுத்திக் காட்டுந் திறனை அடைந்தார்.

விளைபயன் :

இந்த 'வேக வடிகட்டி'க் கருவியைக் கொண்டு பெயின் பிரிட்ஜ் பல தனிமங்களை ஆராய்ந்தார். அவையெல்லாம் முன்பே ஆஸ்டனுல் ஆராயப்பட்டவைதான். Zn, Ge ஆகியவற்றின் ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மை அளவுகளுக்குத் திருத்தங்கள் தந்ததும், Te-ல் புது ஐசோடோப்புகள் கண்டதும், H^2 மற்றும் Be^9 ஆகியவற்றின் ஐசோடோப்புப் பொருண்மைகளைக் கணக்கிட்டதும் ஆஸ்டனைவிடப் பெயின்பிரிட்ஜ் கண்ட முன்னேற்றங்களாகும்.

நடைமுறையில் 10,000-க்கு ஒன்றுவரை பொருந்தி வரக் கூடிய ஒருபடிச் சார்புடைய பொருண்மை அளவு கண்டமை ஆஸ்டனின் கருவியைவிடப் பெயின்பிரிட்ஜ் கருவி அடைந்த முதல்

வெற்றியும் மேன்மையான வெற்றியும் ஆகும். பொதுவாக ஒளிப் படத் தகட்டுப் பரப்பின் ஒழுங்கற்ற தன்மையினால் விளையும் சில தவறுகள், கதிர்கள் தகட்டில் செங்குத்தாக மோதுவதால் தவிர்க்கப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட வகையில் புலங்கள் அமைந்திருப்பதால் பெறும் சுவடுகள் சமச்சீர் அமைவு (symmetrical) கொண்டனவாக இருக்கின்றன. இது துல்லியமான அளவுக்குப் பெருந்துணையாய் அமைகிறது. இதில் உள்ள வேக வடிகட்டி அமைப்பின் காரணமாக இக் கருவி ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பினை மதிப்பிடுவதற்கு ஆஸ்டன் கருவியினைப் போல் அவ்வளவு ஏற்றதல்ல என்று தெரிகிறது. தேர்ந்தெடுக்கப் படும் வேகம் இலேசான ஐசோடோப்புக்கு உரியதாக அமைந்து விடின் கனமான ஒன்று எவ்வளவு அதிக அளவில் இருந்தாலும் அதன் விளைவுகள் படத்தில் காணப்படாது. இத்தகைய ஒரு பிழைக்கு இடமிருப்பதைக் கண்ட பின்னர் இப் பிழை குறைப்பதற் கேற்ற எச்சரிக்கைகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. மொத்தத்தில் பெயின்பிரிட்ஜ் கருவி ஆஸ்டனின் கருவியைவிடச் சிறந்தது இல்லை யென்றாலும் ஆஸ்டன் கருவி அளவிற்குச் சிறந்ததே ஆகும்.

இக் கருவிகள் வெவ்வேறு கொள்கைகளின் அடிப்படையில் அமைந்தவை. ஆதலால் ஒன்றின் மூலம் கணக்கிட்ட அளவுகளை மற்றதைக் கொண்டு அளவிட்டவைகளுடன் ஒப்பிட்டுப்பார்க்கும் வாய்ப்பு ஒரு பெரு நன்மையே ஆகும். இரு கருவிகளிலும் ஒரே வகையான செய்முறைப் பிழைகள் (experimental errors) நிகழு மென்பதற்கு இடமில்லை.

நீரின் நிறை நிறமாலை வரைவி

(Nier's Mass Spectrograph)

1935-ல் டெம்ப்ஸ்டரின் பொருண்மை நிறமாலை வரைவி யினைப்போன்ற, செய்திறன் மிக்கக் கருவியாக்கக் கூடிய பல தொழில் நுட்ப அமைப்புகள் கொண்ட ஒரு கருவியினை முக்கியமாக ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பினை அளவிடுவதற்கென்றே நீர் (Nier) என்பார் அமைத்தார். அதன் முக்கியமான முன்னேற் றங்களாவன :

(1) ஒரு குழாயின் உள்ளே எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டு, பொருளின் ஆவியை மோதச் செய்து அயனியாக்க முறையில் நேர்மின் கதிர்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அக் குழாயின் வெப்பநிலை அதனைச் சூழ்ந்துள்ள ஒரு மின் உலையினால் (electric furnace) ஆட்சி செய்யப்படுகிறது. குழாயினுள் மிகக் குறைந்த

ஆவி அழுத்தம் (Vapour pressure) நிலவுமாறு வெப்பநிலை சரி செய்யப்படுகிறது.

(2) ஒரு அரைவட்ட வடிவு கொண்ட செப்புக் குழாய் ஆய்வு செய் பகுதியாகச் செயல்படுகிறது. அதாவது மிகப் பெரிய கருவி முழுவதையும் தன்னுள் அடக்கிய மின் கம்பிச் சுருள் உருளை (solenoid) யின் அச்சுக்கு இணையாகச் செயல்படும் காந்தப் புலத்தின் ஆற்றலினுல் அயனிகள் அரைவட்டப் பாதையில் வீசப் படுகின்றன. வெப்பக்கடத்தல் (conduction) முறையில் அல்லாது வேறு முறையில் இக் குழாய் வெப்பமுறுவது இல்லை. எனவே, இதனுள் விரவிப்பரவும் (diffuse) ஆவி குளிர்விக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு, இப் பகுதியில் ஏற்படும் குறைவான அழுத்தம் ஆய்வு செய் பகுதி வழியாகச் செல்லும் அயனிகளுக்கு ஏற்படும் மோதல் களைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறைத்து விடுகிறது. இச் செயல் கருவியின் வேறுபடுத்திக்காட்டுந்திறனை அதிக அளவுள்ளதாக்கப் பெரிதும் துணை செய்கிறது.

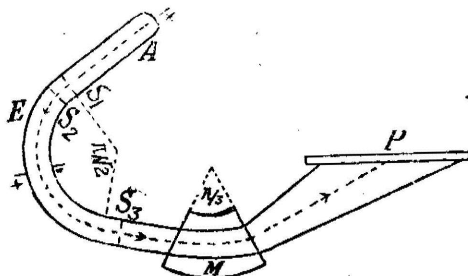
(3) இறுதியில் தகட்டை அடையும் அயனி மின்னேட்டம் வால்வு-பெருக்கி அமைப்பினுல் (valve amplifying device) அளக் கப்படுகிறது. சிறு அயனி மின்னேட்டத்தையும் பெருக்கிடும் இவ்வரிய அமைப்பின் உதவியால் மிகக் குறைந்த செழிப்புடைய ஐசோடோப்புகளைக்கூடக் கண்டுபிடித்து அளவிட முடியும். இக் கருவி 1 : 100,000 என்ற அளவில் ஒப்புமைச் செழிப்பு கொண்ட பொருள்களைக்கூட அளவிடும் என்று கூறப்படுகிறது. நீர் தனது கருவியைக் கொண்டு *A, Kr, Xe, Rb, Zn, Cd, Hg* போன்ற பல்வேறு தனிமங்களை ஆய்ந்து ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பினை மிகமிகத் துல்லியமாக அளவிட்டார்.

பெயின்பிரிட்ஜ்—ஜோர்டான் ஆகியோரின் இரட்டை— குவிய நிறை நிறமாலை வரைவி

(Bainbridge & Jordan Double—Focusing Mass Spectrograph)

1936-ல் பெயின்பிரிட்ஜ் மற்றும் ஜோர்டான் ஆகிய இருவரும் அமைத்த இக் கருவி தற்போதுள்ள எல்லாக் கருவிகளைக் காட் டிலும் தேர்ந்தெடுக்கும் திறன் மிக்கதாகவும் அதிநுட்பமுடைய தாகவும் கூறலாம். இக் கருவியின் அமைப்பு ஆஸ்டன் பொருண்மை நிறமாலைக் கருவியின் அமைப்பினை ஒத்ததே ஆகும். ஆனுல் இதில் உள்ள காந்தப்புலம் மற்றும் மின்புலம் ஆகியவை, குறிப்பிட்ட சிறப்பான ஆரவழி அமைப்பினைக்(radial) கொண்டிருக்

கின்றன. இப் புலங்கள் வேகங்களைக் குவியப்படுத்துவதோடு, அவற்றின் திசையையும் குவியப்படுத்துகிறது. எனவேதான் இதற்கு இரட்டைக் குவிய கருவி என்னும் பெயர் உண்டாயிற்று.



படம் 123.

அழுத்தங் குறைவாயுள்ள A என்னும் மின்னிழப்புக் குழாயிலிருந்து கிளம்பும், 15,000 முதல் 20,000 வோல்ட் வரை ஆற்றல் உள்ள அயனிகள், S_1 மற்றும் S_2 என்னும் பிளவுகளின் வழி சென்ற பின்னர் ஒரு செ.மீ. 1200 வோல்ட் என்னும் கணக்கில் அமைந்த 25 செ.மீ. ஆரமுள்ள வளைந்த இரு மின்வாய்களின் (electrodes) இடையே நிலவச் செய்யும் L என்னும் ஆரவழி மின் புலத்தால் (radial electric field) $\pi/\sqrt{2}$ ரேடியன் கோணத்தில் வளைக்கப்படுகின்றன. பின்னர் அவைகளை π 3 ரேடியன் கோண அளவில் வளைக்கின்ற M என்னும் காந்தப்புலத்தை அடைகின்ற வரை, அவை நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் 40 செ.மீ. தூரம் தொடர்ந்து செல்கின்றன. காந்தப்புலத்தினின்றும் வெளிவரும் அயனிக் கற்றை P என்னும் ஒளிப்படத்தகட்டில் குவிக்கப்படுகிறது.

இக் கருவி அணுக்களின் பொருண்மை 100,000-த்தில் ஒரு பங்கிற்குத் திருத்தமாக அளப்பதில் பின்வருங் காரணங்களால் சிறந்து விளங்குகிறது.

(1) தனிவகைப்பட்ட குவிய அமைப்பினால் பொருண்மை அளவு (mass scale) படத் தகட்டின் பெரும்பகுதிக்கு ஒருபடிச் சார்புடையதாக இருக்கிறது. (2) 10,000 வரையுள்ள வேறுபடுத்திக் காட்டுந்திறனைக் கொண்டிருக்கிறது. இதனைக் கருவியின் வடிவ அளவுகளைக் (geometry) கொண்டு கணக்கிடலாம். டியூட்ரியம் (deuterium) அயனி H^2, ஹைட்ரஜன் மூலக் கூறு அயனி H'_2 இவை 0·00153 பொருண்மை வேறுபாடுதான் கொண்டிருக்கின்றன. இக் கருவியில் மேற்கூறிய இரு அயனிகளுக்கும் உரிய

சுவடுகள் அவற்றின் அகலத்தைப் போல 10 மடங்குள்ள இடை வெளியால் பிரித்துக் காட்டப்படுகின்றன. இக் கருவியின் வேறு படுத்திக் காட்டும் திறனுக்கு இது ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட் டாகும். (3) ஒரே நேரத்தில் வேகம் மற்றும் திசை ஆகியவற்றை ஒருவழிப்படுத்தும் இம் முறை, விரிந்து செல்லும் கற்றைகளைப் பெருமளவு பயன்படுத்துவதில், மற்ற கருவிகளைவிடச் சிறந்து விளங்குகிறது. இதனால் ஒளிப்படத்தகட்டில் சுவடுகளை உண் டாக்கும் கற்றையின் செறிவு அதிகமாகிறது. (4) பெறுகின்ற சுவடுகள் சமச்சீர் அமைவு (symmetrical) கொண்டு விளங்கு கின்றன எனவே அவைகளைத் துல்லியமாக அளக்க முடிகிறது.

தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு முறை

(Isotopic Constitution of Elements)

மேற்கூறிய மிக நுட்பமான, சிறந்த முறைகளைக் கொண்டு செய்த, பொருண்மை நிறமாலை ஆய்வுகளின் விளைவாக, மடக்கு நிலை அட்டவணையில் (periodic table) உள்ள ஏறக்குறைய 92 தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு முறைகளும் கண்டுபிடிக் கப்பட்டுள்ளன. அவ்வமைப்பு முறையின் முக்கியமான பண் புகளை இங்குக் காண்போம்.

ஐசோடோப்புகளின் இயல்புகள் :

ஒரு தனிமத்தின் ஐசோடோப்புகள் ஒரே விதமான இரசாயன குணங்கள் கொண்டன. அவைகளை இரசாயன முறைகளின் மூலம் பிரிக்க இயலாது. எனவே அவை ஒரே தனிமத்தின் அணுக்கள்தான் என்றும், ஆனால் வெவ்வேறு எடை உள்ளவை களாக இருப்பதால் முழுதொத்தவை அல்ல என்றும் கொள்ளப் பட்டன. ஒரு தனிமத்தின் தனித்தன்மை எளிதில் மாறக்கூடிய, தற்செயலாக நடைபெறுகின்ற இரசாயன மாற்றங்களைப் பொருத் ததல்ல. ஆனால் அதன் பொருண்மை போன்ற உள்ளார்ந்த ஒன்றைப் பொறுத்தது. எனவே தனிமம் என்ற சொல்லை இரசா யனத் தனிமங்களுக்குப் பயன்படுத்தாது தனிப்பட்ட ஐசோடோப் புகளுக்குப் பயன்படுத்துதல் வேண்டும். எனவே இரசாயனத் தனிமம் என்பது இதுவரை நாம் நினைத்துக்கொண்டிருந்தது போல், சிறிய ஒன்றல்ல. ஐசோடோப்புகள் என்னும் இன்னுஞ் சிறிய உறுப்புகளை உடைய ஒன்ருகும். எனினும் தெளிவும், ஒருமைப்பாடும் கருதி தனிமம் என்னும் சொல்லை, குறிப்பிட்ட இரசாயனப் பண்புகளைக் கொண்ட, ஐசோடோப்புகளின் கலவை யாகவோ அல்லது அவ்வாறு இல்லாமலோ இருக்கின்ற ஒன்று

என்னும் அதன் பழைய பொருளிலேயே வழங்கலாம் என்று பொதுவாக ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டுள்ளது.

ஒரு ஐசோடோப்பை $X^{A}{}_{Z}$ என்ற குறியீட்டால் குறிப்பது வழக்கம். இங்கு X என்பது அவ் வைசோடோப்பிற்குரிய தனிமத்தின் இரசாயனப் பெயர் குறியீட்டையும் A என்பது பொருண்மை எண்ணையும் (mass number) அதாவது பொருண்மை நிறமாலை வரைவியின் மூலம் கண்ட அணுப் பொருண்மையைத் தோராய முழு எண் ஆக்கி அதன் மூலம் கிடைக்கும் எண் Z என்பது அணு எண்ணையும் (atomic number) குறிக்கின்றன. அணு எண் என்பது மின்னூட்டமற்ற நிலையில் (neutral) உள்ள ஒரு அணுவிலுள்ள புரோட்டான்களின் (proton) கூடுதல் எண்ணிக்கையையோ அல்லது எலெக்ட்ரான்களின் கூடுதல் எண்ணிக்கையையோ குறிக்கும். எடுத்துக்காட்டாக ஹைட்ரஜனின் இரு ஐசோடோப்புகளையும் H'_1 (புரோட்டான்) என்றும் H^2, அல்லது $D^2{}_1$ (டியூட்டிரான்) என்று குறிப்பிடுகிறோம். அவ்வாறே ஆக்சிஜனின் மூன்று ஐசோடோப்புகளையும் $O^{16}{}_8$, $O^{17}{}_8$, ([illegible] $_8$ எனக் குறிப்பிடுகிறோம். எனவே, பொதுவாக ஐசோடோப்புகளை ஒரே அணு எண்ணையும் (Z) ஆனால் வெவ்வேறு பொருண்மை எண்களையும் (A) கொண்ட அணுக்கள் என்று வரையறுக்கிறோம்.

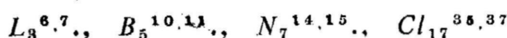
இரசாயன அணு எடை என்பது இரசாயன ஆய்வுகளைப் பொருத்தவரை, அன்று போலவே இன்றுவரை பயனுள்ளதாக இருக்கிறது. ஆனால் 'இரசாயனத் தனிமம்' (Chemical Element) தன்னுடைய புகழ்மிக்க இடத்தில் இருந்து தூக்கி எறியப்பட்டவுடன் இரசாயனஅணு எடை அதன் பழங்காலச் சிறப்பை இழந்தது. இப்போது அது ஒரு அணுவின் பல்வேறு ஐசோடோப்புகளின் புள்ளி இயல் முறையில் கண்ட சராசரி எடையாகவே கொள்ளப்படுகிறது.

II. ஐசோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை :

கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் 40ஐயும் சேர்த்து 280-க்கும் மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகள் உள்ளன. இவைகளைத் தவிர, செயற்கைச் சிதைவு (Artificial disintegration) முறையில் ஏறக்குறைய 300 நிலையற்ற ஐசோடோப்புகளும் உண்டாக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கும் உரிய ஐசோடோப்புகளின் எண்ணிக்கைப் பலதிறப்பட்டதும், சிக்கல் நிறைந்ததுமாகும். எடுத்துக்காட்டாக ஆர்சினிக் (Arsenic), ஃப்ளுரின் (Fluorine), அயோடின் (Iodine), தங்கம் (Gold) போன்றவை ஒரே ஒரு ஐசோடோப்பினைக் கொண்டிருக்கின்றன. மற்றைவ

ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. செனுன் (Zenon), பாதரசம் (Mercury) போன்றவை ஒவ்வொன்றும் ஒன்பது ஐசோடோப்புகளையும், வெள்ளீயம் (Tin) உச்ச அளவான 11 ஐசோடோப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. பொதுவாக ஒற்றைப்படை (odd) அணு எண் கொண்ட தனிமங்களுக்கு இரண்டுக்கு மேற்பட்ட ஐசோடோப்புகள் கிடையாது. இரட்டைப்படை (Even) அணு எண் கொண்ட தனிமங்கள் நிறைய ஐசோடோப்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன.

எடுத்துக்காட்டு :



$$L_3^{6,7}.,\quad B_5^{10,11}.,\quad N_7^{14,15}.,\quad Cl_{17}^{35,37}$$

ஒரு தனிமத்திற்குப் பல ஐசோடோப்புகள் இருப்பின் அவை ஏறக்குறைய ஒழுங்கான முறையில் அமைந்திருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக இரும்பு (Iron) 55, 56, 57, 58 பொருண்மையுடைய ஐசோடோப்புகளையும், அல்லது துத்தநாகம் (Zinc) 64, 66, 68, 70 ஆகிய பொருண்மை எண்களைக் கொண்ட ஐசோடோப்புகளையும் உடையன. இந்த ஒழுங்கு கோவைகளை (regular sequences) ஏறுவரிசையில் நோக்கின், அடுத்தடுத்துள்ள இரு எண்களுக்கிடையே இரண்டு அலகுகளுக்கு அதிகமான வேறுபாடு காணப்படுவதில்லை. இது பொருளின் உள்ளமைப்புப் பற்றிய முக்கியமான ஒன்ருக இருத்தல் கூடும்.

சிறந்த சில ஐசோடோப்புகள்

(i) ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகள் :

ஆரம்பகால ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் ஆஸ்டனும் மற்றும் பலரும், அணுக்களின் பொருண்மையைத் துல்லியமாக அளவிடக்கூடும் என்று அறிந்த பின்னர், பொருண்மையை அளப்பதற்கேற்ற ஒருஅலகினைத் தேர்ந்தெடுப்பது இன்றியமையாததாயிற்று. அக்காலத்தில் ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகளில் 16 பொருண்மை கொண்ட ஐசோடோப்பு ஒன்றைத் தவிர மற்றவைக் கண்டு பிடிக்கப்படவில்லை. எனவே மின்னேற்றமற்ற O^{16} என்னும் ஆக்சிஜன் அணுப் பொருண்மையில் 16-ல் ஒரு பங்கினைப் பொருண்மை அலகாகக் கொண்டு மற்ற ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மைகளை அளவிட்டனர். இவ்வலகினைக் கொண்டு அளவிட்ட, ஹைட்ரஜனின் பொருண்மையாகி 1·00778 என்பது இரசாயன முறையில் துல்லியமாக அளவிட்ட, ஹைட்ரஜனின் அணு எடையாகிய 1.00777 என்பதுடன் பெரிதும் ஒப்ப இருந்தது. இது O^{16}ஐ பொருண்மை அலகிற்குத் தேர்ந்தெடுத்த செய்கை 'சரியே' என்று உறுதிப்படுத்துவதாகத் தோன்றிற்று.

ஆனால் விரைவிலேயே மூலக்கூறு நிறமாலை (Molecular spectra) ஆய்வுகளின் மூலம் ஆக்சிஜனில் 17 மற்றும் 18 பொருண்மைகள் கொண்ட இன்னும் இரு ஆக்சிஜன் ஐசோடோப்புகள் — அவை மிகக் குறைந்த அளவில் காணப்பட்டன என்றாலும்— இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. 16, 17 மற்றும் 18 பொருண்மைகள் கொண்ட அந்த ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு விகிதம் 3000 : 1 : 5 என்னும் விகிதத்தில் அமைந்துள்ளது. இக் கண்டுபிடிப்பு O^{16}-ஐ பொருண்மை அலகிற்குத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கு எதிராகச் சிக்கல்கள் உண்டாக்கக் காரணமாயிற்று. ஹைட்ரஜன் ஹீலியம் போன்றவற்றை அலகுகளாகப் பயன்படுத்தும் முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன என்றாலும் அவற்றால் அதிகப்பயன் விளையவில்லை. எனவே O^{16}-ன் அடிப்படையில் அமைந்த பொருண்மை அலகுதான் இன்று வரை உபயோகத்தில் இருந்துவருகிறது.

(ii) ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகள் :

ஆக்சிஜன் மூன்று ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டது என்னும் கண்டுபிடிப்பு, விஞ்ஞானிகளை மற்றொரு துறையில் ஒரு சுவைமிக்க முடிவுக்கு — அதாவது கனமான ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகள் இருக்கக்கூடும் என்ற முடிவு — கொண்டுசென்றது. அவர்கள் கூறும் வாதம் பின்வருமாறு : ஆக்சிஜனுக்கு மூன்று ஐசோடோப்புகள் உண்டு என்பதால், ஆக்சிஜனுக்கு இரசாயன முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணு எடையாகிய 16·0035-க்கு ஈடாக அணு எடை வரும் பொருட்டு அலகினைக் குறைக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. ஆனால் குறைக்கப்பட்ட இந்த அலகில் மற்ற தனிமங்களின் பொருண்மையைக் கணக்கிடும்போது 1000-க்கு 2·2 பங்கு குறைக்க வேண்டியிருக்கிறது. அப்போது ஹைட்ரஜனின் பொருண்மை 1·00756 ஆகிவிடுகிறது. முன்பிருந்த பழைய பொருண்மைக்கும் இப்போது கணக்கிட்ட பொருண்மைக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடு (1·00778 — 1·00756) 0·00022 பொருண்மை அலகாகும். இது குறைவான ஒன்று எனத் தள்ளிவிடக்கூடிய வேறுபாடு அல்ல. எனவே இதை இருபங்கு அணுப் பொருண்மை கொண்ட கனமான மற்றொரு ஹைட்ரஜன் அணு 6000-க்கு ஒன்று என்னும் அளவில் இருப்பதாகக் கொண்டு விளக்குதல் கூடும். அவ்வாறு கொண்டால் ஹைட்ரஜனின் இரசாயன அணு எடை என்பது அவ்விரு ஐசோடோப்புகளின் புள்ளியில் சராசரி (statistical mean) எடை ஆகும். எனவே பொருண்மை மாலை மூலம் கண்ட மதிப்பினைவிட அதிகம் இருக்கும்.

(iii) டியூட்டிரியம் காணல் :

பேராசிரியர் யுரே (Prof. Urey) என்பவரும் அவருடன் ஆராய்ச்சி செய்தவர்களும், அணு நிறமாலை (atomic spectra) ஆய்வுகளின்போது ஹைட்ரஜனுக்கு மேலே கூறியது போன்ற கனமான ஐசோடோப்பு ஒன்று இருப்பதைக் கண்டுபிடித்து அதற்கு டியூட்டிரியம் (deuterium) எனப் பெயரிட்டனர். பின்னர் அதிக அளவு சாதாரண நீரில், மிகுந்த மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தி சிறிதளவு நீர் மட்டும் பாக்கி இருக்கும் வரை மின்னாற் பகுப்பு (electrolysis) செய்து செறிவாக்கம் (concentration) மிக்க இவ்வகை ஐசோடோப்புகளைத் தயாரித்தனர். சாதாரண நீரைக் காட்டிலும் வேறுபட்ட குணங்கள் கொண்ட — (3·8° செ. உறை நிலையும், 101·4° செ. கொதி நிலையும், 796 கலோரி ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பமும் கொண்டது) பாக்கி இருந்த நீருக்கு 'கன நீர்' (heavy water) எனப் பெயரிட்டனர். இப்போது தொழில் முறையில் பெரிய அளவில் தயாரிக்கப்படும் டியூட்டிரியம் சிக்கல் மிகுந்த கரிமக்கூட்டுப் பொருள் ஆய்வுகளில் (analysis of organic compounds) திறம் மிக்க குறிப்புக்காட்டியாக (indicator) ஆகவும், செயற்கைத் தனிம மாற்றத்தில் (artificial transmutation) இலக்காகவும் (target), வீச்சுப் பொருளாகவும் (Projectile) அணு உலைகளில் (atomic reactors) ஆற்றல் வாய்ந்த தணிப்பான் (moderators) ஆகவும் இன்னும் இதுபோன்ற பல வகைகளிலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

iv. ஐசோடோப்புகளைப் பிரித்தல் :

ஐசோடோப்புகளைத் 'தனிமம்' என்னும் சொல்லால் —அதன் உண்மைப் பொருளுக்கு ஏற்ப—அழைக்க வேண்டுமென்றால் அவை தனித்து இயங்கத்தக்கவையாக, இருத்தல் வேண்டும். என்னும் கொள்கைக்காக மட்டுமின்றி, செயற்கைத் தனிம மாற்றங்கள் அணு சக்தி ஆக்கம், செயற்கை முறையில் தயாரித்த ஐசோடோப்புகளைக் கொண்டு நோய்களைக் கண்டறிதல், குணப்படுத்துதல் போன்ற அறிவியல், மருத்துவம் மற்றும் தொழிலியல் ஆகியத் துறைகளில், நாளுக்கு நாள் அதிகரித்து வரும் நடைமுறைப் பயன் கருதியும், ஐசோடோப்புகளைப் பிரித்தல் அவசியமான ஒன்றாகிவிட்டது.

ஐசோடோப்புகள் ஒரே தன்மையான இரசாயனப் பண்புகளைப் பெற்றிருப்பதால் அவைகளின் பொருண்மையைக் கொண்டு பௌதிக முறையில் மட்டுமே அவைகளைப் பிரித்தல் கூடும். பொருண்மை மாலை வரைவி முறை (mass spectro graph method), விரவிப் பரவுதல் முறை (diffusion method) மின்னாற் பகுப்பு முறை

(electro lysis) போன்ற பல்வேறு வழிகள் பயன்படுத்தப்பட்டன. ஆனால் ஒரு சில முறைகளினால் மட்டுமே போதிய பயன்கள் கிடைத்தன. பொதுவாகப் பெருமளவு பொருள்களை எடுத்துக் கொண்டு பிரிக்கின்ற முறைகளில், பிரிக்கும் திறன் குறைவாகவும், முற்றிலும் வெவ்வேறாகப் பிரிக்கும் ஆற்றல் கொண்ட முறைகளினால் கிடைக்கின்ற பொருள்களின் அளவு கிடைப்பதில்லை எனச் சொல்லுமளவுக்கு குறைவாக இருந்தன. எனினும் தொடர்ந்து விரவிப் பரவச் செய்யும் (continuous diffusion) முறையில் நியான் வாயுவையும், மின்னாற் பகுப்பு முறையில் ஹைட்ரஜனையும், பொருண்மை நிறமாலை வரைவி முறையில் யுரேனியத்தையும் பிரிக்கும் முயற்சியில் பெருவெற்றி கிட்டியது.

v. ஐசோடோப்புகளின் நிறைகள் :

பொருண்மை நிறமாலை ஆய்வுகளின் மூலம் தனித்தனி ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மையையும் 10·000-ல் ஒரு பங்கிற்குத் திருத்தமாக கணக்கிட்டதால் பின் வரும் முக்கியமான முடிவுகள் ஏற்பட்டன.

(i) முழு எண் விதி :

ஒரு தனிமத்தின் எல்லா அணுக்களும் ஒரே மாதிரியாக இருக்க வேண்டும் என்பதில்லை என்னும் உண்மையை அன்று நிலை நாட்ட முடியாமற் போய்விட்டதால்தான், 'தனிமங்கள் ஒரு முழு எண் அளவுள்ள ஹைட்ரஜன் அணுக்களால் ஆகியவையே'என்ற ப்ரவ்ட்டின் புனைவுகோள் (prout's hypothysis) நாம் முன்னரே கூறியுள்ளதுபோல் கைவிடப்பட்டது. ஒரு தனிமம் வெவ்வேறு பொருண்மை கொண்ட அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது என்பது மட்டுமின்றி, அவ் வணுக்களின் பொருண்மைகள் ஒரு குறிப்பிட்ட பொருண்மை அலகில் (mass unit) கூறும்போது ஏறக்குறைய முழு எண்களாகவே இருக்கின்றன, என்பதும் பொருண்மை நிறமாலை ஆய்வுகளின் விளைவாக இன்று உறுதி ஆகிவிட்டது. இவ்வாறு தனிமங்கள், ஒரே பொருண்மை அலகினையாவது கொண்ட அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனவை என்ற ப்ரவ்ட்டின் கொள்கை சரியே என்று ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டது. மேலும் பொருண்மை மாலை ஆய்வுகளின், தெள்ளிய முடிவுகளின்படி, ஒரு ஐசோடோப்பின் உண்மையான பொருண்மை ஏறக்குறைய முழு எண்ணாக இருக்கிறதே தவிர சரியாக முழு எண்ணாக இல்லை. எனவே முக்கியமான ஒரு சிறு மாற்றம் செய்து கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. இது மேலும் விளக்கம் பெறவேண்டிய ஒன்றாகும்.

(ii) **நிறைக் குறை** (Mass defect packing fraction) :

ஒவ்வொரு ஐசோடோப்பும், முழு எண் விதியிலிருந்து சிறிதளவாயினும் ஒரு வரையறைக்குட்பட்டு மாறுபடும் தன்மை கொண்டிருப்பதை, பொருண்மை மாலை வரைவியைக் கொண்டு கணக்கிட்டுக் கீழே தரப்பட்டுள்ள பொருண்மைகளை நோக்க எளிதில் உணரலாம்.

H^1	He^4	Li^6	O^{16}	Cl^{35}
1·00788	4·00408	6·01614	16·00	34·9807

Mo^{98}	Hg^{200}	U^{238}
97·946	200·016	238·14

மிக இலேசான ஐசோடோப்புகள் (H^1, He^4, Li^6) மிகக் கனமான ஐசோடோப்புகள் (Hg^{200}, U^{238}) ஆகியவற்றின் (கணக்கிடப் பட்ட) பொருண்மை, அவைகளின் தோராய முழு எண்ணைவிட சற்றே அதிகமாகவும், நடுத்தர ஐசோடோப்புகளின் (Cl^{35}, Mo^{98}) கணக்கிடப்பட்ட பொருண்மைகள் அவைகளின் தோராய முழு எண்ணைவிட சற்றே குறைவாகவும் இருப்பதை அறிகிறோம். கணக்கிடப்பட்ட அணுப் பொருண்மையாகிய M-க்கும் அதன் பொருண்மை எண்ணாகிய A-க்கும்—அதாவது தோராய முழு எண்ணுக்கும்—உள்ள வேறுபாட்டிற்கும் நிறைக் குறை (mass defect) என்று பெயர். $\triangle = M - A$ இத் தொகையை அணு எண்ணால் வகுக்கக் கிடைப்பது $\left(\frac{\triangle}{A} = \frac{M-A}{A}\right)$ பொதிவுப் பின்னம் (packing fraction) எனப்படும். இப் பின்னம், மூலத் துகளின் (elementry particle) நிறை குறையைக் குறிக்க ஆஸ்டனால் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது.

இலேசான ஐசோடோப்புகள், கனமான ஐசோடோப்புகள் இவைகளில் காணப்படும் பொருண்மைக் குறை செய்முறைப் பிழையினைப் (experimental error) போல, முறையே 100 மடங்குகளும், 10 மடங்குகளும் இருப்பதால் இதனைச் செய்முறைப் பிழையெனக் கொள்வதற்கில்லை. இருப்பினும் முழு எண் விதி ஒப்புக் கொள்ளக் கூடியதல்ல என்று கூறிவிட முடியாத அளவுக்கு இது மிகச் சிறியதாகவும் இருக்கிறது. அதே சமயத்தில் முழு எண் விதியினின்றும் முறையாக மாறுபடுகின்ற அதன் தன்மையையும் விட்டு விடுவதற்கில்லை. சார்புக் கொள்கையின் (relativity) பொருண்மை-ஆற்றல் சமன்பாட்டின் அடிப்படையில், இச் சிக்கலைத் தீர்ப்பதற்குத் தக்க ஒரு தீர்வு கூறப்பட்டது. அது வருமாறு : மூலத் துகள்களை ஒன்றுசேர்த்து நிலையான ஐசோடோப்புகளை உண்டாக்கும்

செயலில் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் பரிமாற்றம் அடங்கி இருக்கிறது. இதை $W = mc^2$ அல்லது $m = \frac{W}{c^2}$ என்னும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம். இச் சமன்பாட்டில் W என்பது m என்னும் பொருண்மைக்கு ஈடான ஆற்றலின் அளவு. C என்பது ஒளியின் வேகம் ஒரு ஐசோடோப்பு அதன் ஆக்கக் கூறுகளினின்றும் (constituent particles) உருவாவதற்குத் தேவையான பிணைக்கும் ஆற்றலை (binding energy) அதனிடம் உள்ள பொருண்மையிலிருந்தே பெறுகிறது. எனக் கொள்வது நியாயமே ஆகும். இதன் விளைவாகப் பொருண்மைக் குறை (mass defect) ஏற்படுகிறது. $W = mc^2$ என்னும் சமன்பாட்டில் C^2 என்னும் உறுப்பு வருவதால் மிகச் சிறிய அளவு பொருண்மைக் குறையும் மிக அதிக அளவு ஆற்றலுக்கு ஈடாகி விடுகிறது.

செயற்கைத் தனிம மாற்றம், அணுக் கருவின் அமைப்பு, அதன் நிலைத்தன்மை இன்னோரன்ன நிகழ்ச்சிகளில் பொருண்மைக்குறை பயன்படுத்தப்பட்டுக் குறிப்பிடத்தக்க விளைவுகள் பெறப்பட்டுள்ளன. இவை குறித்துக் தக்க இடங்களில் விரிவாகக் கூறுவோம்.

(vi) ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு (Relative abundance of Isotopes)

பல தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு செழிப்பு விகிதங்கள் (abundance ratio) பொருண்மை நிறமாலை வரைவிகளைக் கொண்டு மிகத் துல்லியமாக அளக்கப்பட்டுள்ளன வெவ்வேறு தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு எண்ணிக்கை வேறு வேருக இருப்பது போலவே ஒப்புமைச் செழிப்பிலும் மிகுந்த வேற்றுமைக் காணப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக புரோமின் (bromine) ஏறக்குறைய சமச்செழிப்புள்ள (50·6%, 49.4%) இரு ஐசோடோப்புகளையும் ஆனால் ஹைட்ரஜன் சிறிதும் சமமல்லாத விகிதத்தில் (99·98%, 0.02%) அமைந்த இரு ஐசோடோப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. பின் வருங்காரணங்களினுல் ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு பற்றிய அறிவு முக்கியமான ஒன்ருக அமைகிறது.

(i) இரசாயன அணு எடைகளைச் சரிபார்க்க இது ஒரு முறையாக அமைகிறது. லிதியத்தின் அணு எடையை எடுத்துக் காட்டாகக் கொள்வோம். பொருண்மை நிறமாலை முறைப்படி இதன் அணு எடை 7·9% செழிப்பும் 6·0164 பொருண்மையும் உடைய Li^6 மற்றும் 92·1% செழிப்பும் 7·0182 பொருண்மையும் கொண்ட Li^7 ஆகியவற்றின் சராசரி ஆகிய 6·937 ஆகும்.

இந்த எடைக்கும் இரசாயன முறையில் கண்ட 6·94 என்னும் மதிப்புக்கும் வியக்கத்தக்க ஒற்றுமை இருக்கிறது. அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாகக் காணப்படும் சிறு வேற்றுமைகள் தவிர எல்லாத் தனிமங்களிலும் அவ்வொற்றுமை மெய்ப்பிக்கப் பட்டிருக்கிறது. இது இவ்விரு முறைகளுக்கும் பெருமைத் தருவதாய் உள்ளது.

(ii) ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு, பொருண்மை இவைபற்றி பொருண்மை மாலை முறையில் பெற்ற செய்முறைக் குறிப்புகள் (data), தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணையில் (periodic table of elements) தனிமங்களை வரிசைப்படுத்திய முறையில் காணப்படுகின்ற சில தாறுமாறுன போக்குகளுக்கு விளக்கம் தருகின்றன. நேர் முறையில் (direct method) கணக்கிடப்பட்ட அத்தகைய (தாறுமாருக அமைந்த) ஐசோடோப்புகளின் பொருண்மைகள் இயல்பு எண்களுடன் (natural numbers) கலந்து விட்டமையாலும், தனிமத்தில் காணப்படும் ஐசோடோப்புகளின் விகிதங்கள் அதிக வேறுபாடுகள் கொண்டிருப்பதாலும் இத்தகைய தாறுமாறுன போக்குகள் இருந்தே தீரும். எடுத்துக்காட்டாக ஆர்கான் (அணு எடை 39·94), பொடாசியம் (அணு எடை 39·10) இவற்றின் முறையற்ற வரிசை பின்வருமாறு விளக்கப்படுகிறது. ஆர்கானுக்கு உள்ள 40, 39 பொருண்மைகள் கொண்ட இரு ஐசோடோப்புகளில் 40 பொருண்மை கொண்ட கனமான ஐசோடோப்பு அதிக அளவில் (99·4%) காணப்படுகிறது, ஆனல் பொடாசியத்தின் 39, 41 ஆகிய பொருண்மைகள் கொண்ட இருவித ஐசோடோப்புகளில் கனமான ஐசோடோப்பு 5·4% தான் காணப்படுகிறது.

கனமான ஐசோடோப்பு, இலேசான ஐசோடோப்பு இவற்றின் விகிதம் இவ்விரு தனிமங்களிலும் ஒன்ருக இருந்திருப்பின் பொடாசியத்தின் அணு எடை குறைந்து காணப்படுவதற்குப் பதிலாக மடக்கு நிலை அட்டவணையின் (periodic table) வரிசைக்கு ஏற்ப அதிகமாக இருந்திருக்கும். தனிமங்களின் இரசாயனப் பண்புகள், அணு எடையின் ஏறு வரிசை இவற்றின் அடிப்படையில்தான் மடக்கு நிலை அட்டவணை அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. என்ருலும், முரண்பாடு காணப்படும் இடங்களில், பொதுவாக அணு எடையை விட்டு, இரசாயனப் பண்புகளின் அடிப்படையிலேயே அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

(iii) ஐசோடோப்புகளின் செழிப்பினைக் கூர்ந்து நோக்க பின்வரும் குறிப்புகள் கிடைக்கின்றன. (a) ஒற்றைப் படை

(odd) அணு எண் உடைய ஐசோடோப்புகளைவிட, இரட்டைப் படை (even) அணு எண் உடைய ஐசோடோப்புகள் அதிக விகிதத்தில் காணப்படுகின்றன. குறிப்பாக நான்கின் பெருக்கற பலன்களாக அமைந்த எண்களை நிறையாகக்கொண்ட ஐசோடோப்புகள் மிகமிக அதிக விகிதத்தில் இருக்கின்றன. இவ்வாறு O^{16}, Mg^{24}, Si^{28}, Ca^{40}, Fe^{56} இவை நிலத்தின் மேற்பரப்பில் ஏறக்குறைய 90% அளவில் இருக்கின்றன. (b) இலேசான ஐசோடோப்புகளில் பொருண்மை எண், அணு எண்ணைப் போல தோராயமாக இரு மடங்கு இருக்கின்றன. ஆனால், கனமான ஐசோடோப்புகளில் பொருண்மை எண் (இரு மடங்கைவிட) ஓரளவு அதிகமாக இருக்கிறது. (c) இயற்கையில் உள்ள 280 ஐசோடோப்புகளில் 154—அதாவது மொத்த எண்ணிக்கையில் 7-ல் 4 பங்கு—இரட்டைப்படை பொருண்மை எண்ணும், இரட்டைப்படை அணு எண்ணும் கொண்டவை ஆனால், நான்கு தனிமங்கள் மட்டுமே (${}_1H^2$, ${}_3Lc^6$, ${}_5B^{10}$, ${}_7N^{14}$.) ஒற்றைப்படை அணு எண்ணும் இரட்டைப்படை பொருண்மை எண்ணும் கொண்டிருக்கின்றன. ஒற்றைப்படை எண்ணை பொருண்மை எண்ணாக உடைய ஐசோடோப்புகள் மேற் கூறிய இரு வகைகளுக்கும் இடைப்பட்ட நிலையில் இருக்கின்றன. இவ் வகையில் அமைந்த 107 நிலையான ஐசோடோப்புகளில் 55 ஐசோடோப்புகள் இரட்டைப்படை அணு எண்ணையும் மற்ற 52 ஐசோடோப்புகள் ஒற்றைப்படை அணு எண்ணையும் கொண்டவை. எனவே இரட்டைப்படை அணு எண்ணையுடைய ஐசோடோப்புகள் (154 + 55) ஒற்றைப்படை அணு எண்ணை உடைய ஐசோடோப்புகளை (52 + 4) விட (a)-ல் கூறியவாறு அதிக அளவில் இருக்கின்றன. இக் கண்டுபிடிப்புகள், அணுக் கருவின் அமைப்பு, அதன் நிலைத்த தன்மை இவற்றை விளக்க—நாம் பிறகு இதுபற்றி விளக்குவோம்—உறுதுணை செய்கின்றன.

(iv) ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பின் மாறுத் தன்மை காரணமாக இது பற்றிய ஆய்வில் அடிப்படையான கவனம் செலுத்தப்படுகிறது. தனிமங்களை எப்படி அடைந்தாலும் எதனின்றும் அடைந்தாலும், பூமியிலிருந்து அடைந்தாலும், விண் வீழ்க் கற்களைப்போல (meteorites) பூமிக்கு அப்பாலிருந்து அடைந் தாலும் தனிமத்தின் ஒவ்வொரு பகுதியிலும் பொதுவாக அதன் ஒப்புமைச் செழிப்பு ஒரே அளவில் காணப்படுகிறது. ஒரு ஐசோ டோப்பின் செழிப்பு விகிதம் எங்கும் ஒரே அளவில் காணும்படி, ஒவ்வொரு தனிமத்திலும் உள்ள ஐசோடோப்புகளின் கலவை, காலத்துவக்கத்திலேயே முற்றுப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும் என்பது போலத் தோன்றுகிறது.

வினுக்கள்

1. நேர்மின் கதிர்கள் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன? நேர்மின் அயனிகளின் மின்னூட்ட எண்ணை (specific charge) துல்லியமாக அளவிடப் பயன்படும் முறை ஒன்றினை எழுதுக.

(அலகாபாத் பல்கலைக் கழகம் 1951)

2. நேர்மின் கதிர்கள் என்ருல் என்ன? அக் கதிர்களின் மின்னூட்டத்திற்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதத்தைக் காண தாம்சன் கையாண்ட பரபோலா முறையினை விளக்கு. பரவளைவின் உச்சி தெளிவாகக் காணப்படுவது ஏன்? ஐசோடோப்புகளை ஆய்வதற்குத் தடையாய் இம் முறையில் அமைந்துள்ள குறைபாடுகள் யாவை?

(ஜெய்ப்பூர் பல்கலைக் கழகம் 1959, ரூர்க்கிப் பல்கலைக் கழகம் 1958, அலகாபாத் பல்கலைக் கழகம் 1955)

3. நிறை நிறமாலை வரைவி ஒன்றினை விவரிக்க. அணுக்களின் பொருண்மையைக் கணக்கிட அது எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதை விளக்குக.

(அலகாபாத் பல்கலைக் கழகம் 1944)

4. நேர்மின் கதிர்கள் என்பவை எவை? $\frac{e}{M}$ என்னும் விகிதத்தைத் தாம்சன் முறையில் இக்கதிர்களுக்கு எவ்வாறு கணக்கிடலாம்? ஒரு குறிப்பிட்ட வகை நேர்மின் கதிர்களுக்கு அவ் விகிதம் ஹைட்ரஜனுக்கு உள்ள விகிதத்தில் பாதியாக இருக்கிறது. அக் கதிர்களின் தன்மை யாதாக இருக்கக்கூடும்?

விடை: அக் கதிர்கள் ஒருமங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட டியூடிரியம் அயனிகளையோ அல்லது இரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட ஹீலியம் அயனிகளையோ கொண்டிருக்கும். (பம்பாய் பல்கலைக் கழகம் 1939, ஆக்ரா பல்கலைக் கழகம் 1955)

5. ஆஸ்டன் நிறை நிறமாலை வரைவி செயல்படும் முறையினை விளக்கமாக எழுது. அதன் மூலம் பெற்ற முடிவுகளை ஆய்க. (அலகாபாத் பல்கலைக் கழகம் 1950, டெல்லி பல்கலைக் கழகம் 1952)

6. ஆஸ்டனின் நிறை நிறமாலை வரைவியை விவரிக்க. ஐசோடோப்புகளைக் கண்டுபிடிப்பதில் அது எவ்வாறு பயன்படுத்தப்பட்டது எனக் கூறு. தாம்சனின் முறையைவிட இம் முறை எவ்விதத்தில் சிறந்ததாக இருந்தது?
(பஞ்சாப் 1959, பம்பாய் 1953, பரோடா 1951)

7. குறிப்பு வரைக :

(a) ஐசோடோப்புகள் (சென்னை 1950 பஞ்சாப் 1951)

(b) கன ஹைட்ரஜன் (பஞ்சாப் 1951, ஆக்ரா 1951)

4. எக்ஸ் - கதிர்கள்

(X - Rays)

முன்னுரை :

எக்ஸ்-கதிர்களின் உண்மையான தன்மையைத் திட்டமாக அறிவதே, எக்ஸ்-கதிர் ஆய்வின் முக்கியமான நோக்கமாகும். இது விஞ்ஞானிகள் பலரின் கவனத்தை ஈர்த்து முடிவில் கதிர் வீச்சு பற்றிய ஒரு புதுக் கருத்திற்கு வித்திட்டது. கண்ணுக்குப் புலனாகாத இக் கதிர்கள், புற ஊதாக் கதிர்கள் (ultraviolet rays) மற்றும் கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளி (visible light) ஆகியவற்றின் தன்மையையும் ஆனால் குறைந்த அலை நீளத்தையும் பெற்றிருக்கக் கூடும் என்பதை இக் கதிர்கள் பற்றிய ஆரம்பகால ஆராய்ச்சிகள் உணர்த்தின. இவை சாதாரண அலையின் குறுக்கு அலைகளை (transverse waves) போலன்றி நெட்டமைப்பு (longitudiual) கொண்ட ஈதர் அலைகளாக இருக்கக் கூடுமென்று ராண்ட்ஜன் (Rontgen) நினைத்தார். அவருடைய கருத்துக்கு மாறானவகையில் எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும், கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிக்கும் இடையே பல ஒற்றுமைகள் காணப்பட்டமையால் ராண்ட்ஜனின் கருத்துகள் ஒப்புக்கொள்ளப்படவில்லை.

1912-ல் பேராசிரியர் லாவே (Prof. Laue) இச் சிக்கலை பெருமளவு தீர்த்து வைத்து ஒரு வியத்தகு கருத்தைக் கூறினார். பொருத்தமான ஊடகம் ஒன்று இல்லாமையால்தான் எக்ஸ்-கதிர்களைப் பிரதிபலித்தல், முறித்தல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளை ஏற்படுத்தும் முயற்சிகள் தோல்வியுற்றன என அவர் கூறினார். கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிக்கு அல்லது புற ஊதாக் கதிர்களுக்கும் ஏற்றதாய் இருக்கும் ஊடகங்கள் எக்ஸ்-கதிர்களின் குறைந்த அலை நீளங் காரணமாக அவைகளுக்கு ஏற்ற ஊடகங்களாக அமையவில்லை. ஆனால் படிகங்களின் (crystals) உள்ளமைப்பு, எக்ஸ்-கதிர்களுக்கு ஏற்ற நல்ல ஒரு ஊடகமாக இருத்தல் கூடும். இக் கருத்தின் அடிப்படையில் லாவேயும் மற்றவர்களும் செய்த சோதனைகள் பெரு வெற்றியைத் தந்தன. இதைத் தொடர்ந்து செய்த

ஆராய்ச்சிகள் எக்ஸ்-கதிர்களைத் திசைவிலக்கவும் (refract) முனைவுப்படுத்தவும் (polarise), சிதறச் செய்யவும் (scatter) கூடும் எனத் தெளிவாகக் காட்டின. இதன் விளைவாக எக்ஸ்-கதிர்கள் நிறமாலையில் ஒரு சிறு பகுதியில் இடங்கொண்டிருக்கின்றது என்ற ஒன்றைத் தவிர மற்ற எல்லா வகைகளிலும், ஒளியை ஒத்ததே என்பது நிலை நிறுத்தப் பட்டது.



பேராசிரியர் லாவே

எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும், ஒளிக்கும் உள்ள முக்கியமான ஒற்றுமைகள் மெய்ப்பிக்கப் பட்டவுடன் கதிர் வீச்சுப் பற்றிய, முதுபழம் மின்காந்தக் கொள்கையினை (electro magnetic theory) எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பயன்படுத்தினர். எதிர் மின்கற்றையில் உள்ள, விரைந்து செல்லக்கூடிய எலெக்ட்டிரான்கள் அவற்றின் பாதையில் அமைந்துள்ள பருப்பொருள்களால் (material obstacles) திடீரென நிறுத்தப்படும்போது குறிப்பிடத்தக்க எதிர்முடுக்கம் (negative acceleration) அடைகின்றன. இவ்வாறு திடீரென எதிர்முடுக்கமுற்ற மின்னூட்டங்கள் (charges) மின்காந்தத் துடிப்புகளாக (electromagnetic pulses) ஆற்றலை வெளியிட்டாக வேண்டும். அத் துடிப்புகள்தான் எக்ஸ்-கதிர்களாகும். எக்ஸ்-கதிர்களின் தோற்றுவாய் (origin) பற்றிய இக் கருத்துச் செய்முறைக் குறிப்புகளின்மூலம் பண்பளவிலாவது நன்கு உறுதி செய்யப் பட்டுள்ளது. எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைத் தன்மையை நிலை நிறுத்துவதற்காகச் செய்த அதே ஆராய்ச்சிகளின் வாயிலாக, எக்ஸ்-கதிரின் தற்சிறப்பினைக் காட்டும் நிறமாலை (characterstic spectra) எக்ஸ்-கதிர்களின் ஒளிமின் விளைவு (photo electric effect), காம்ப்டன் விளைவு (compton effect) என்று கூறப்படும் அலை நீள மாறுதலை உண்டாக்கும் எக்ஸ்-கதிர் சிதறல் போன்ற பல விவரங்கள் கிடைத்தன. இந் நிகழ்ச்சிகளை முதுபழங் கொள்கையைக் (classical theory) கொண்டு விளக்குதல் இயலாது.

பௌதிகத்தின் மற்றத் துறைகளில் சிக்கல்களை நீக்கி விளக்கம் தந்தது போலவே குவாண்டம் கொள்கை (Quantum theory) இத்

துறையிலும் நல்ல விளக்கம் தந்தது. எனவே எக்ஸ்-கதிர்கள் பற்றிய ஆய்வில், எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைத் தன்மை, மற்றும் குவான்டத் தன்மை (quantum nature) முதலியவற்றை நிலை நிறுத்திய ஆராய்ச்சிச் சிறப்புகளும் அடங்கும். இதுபற்றி தொன்மைக் கோட்பாடுகள் தரும் கருத்து விளக்கங்களோடு இங்கு நிறுத்திக் கொண்டு, ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கை தரும் கருத்து விளக்கத்தினைப் பின்னால் வரும் அத்தியாயங்களில் காண்போம்.

எக்ஸ்-கதிர்களின் ஆக்கமும்—அவைகளைக் கண்டறிதலும்

(Production and Detection of X-Rays)

எக்ஸ் கதிர்களைத் திறன்மிக்க முறையில் உண்டாக்குதல், துல்லியமாக அளத்தல் ஆகியவைகளை நன்கு அறிதல், அவைகளைச் செம்மையாகப் பகுத்தறிவதற்குத் தேவை. எனவே அவைகளை உண்டாக்குதல் மற்றும் கண்டறிதல் ஆகிய முறைகளை அறிவதிலிருந்து தொடங்குவோம்.

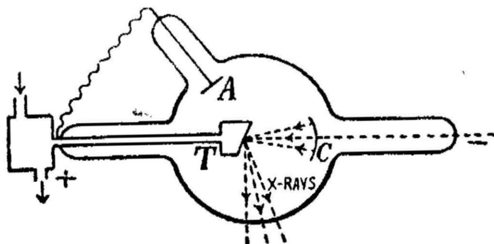
I எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்குதல் :

விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்களை ஒரு திண்மையான இலக்கில் மோதச் செய்து எக்ஸ்-கதிர்கள் உண்டாக்குவதை அடிப்படையாகக் கொண்டு பல, திறன்மிக்கத் தோற்றுவாய்கள் (sources) உருவாக்கப்பட்டன. வாயுக்குழாய் (gas tube), கூலிட்ஜ் குழாய் (coolidge tube), அண்மையில் உருவாக்கப்பட்ட பீட்டாட்ரான் (betatran) ஆகியவை, எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்கும் முறையில் அமைந்த நுட்பத் திறனின் வெவ்வேறு நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. இங்குப் பொதுவாகப் புழக்கத்திலிருக்கும் முதலிரு வகைக் குழாய்களைப் பற்றி மட்டும் விளக்குவோம். மூன்றாவது குழாயைப் பற்றி பிந்திய அத்தியாயம் ஒன்றில் பார்ப்போம்.

வாயுக் குழாய் (The Gas tube) :

இவ் வாயுக் குழாய் சில மாறுதல்கள் செய்யப்பட்ட எதிர்மின் கதிர்க் குழாயே (cathode ray discharge tube) ஆகும். (படம் 124) அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்ட *C* என்னும் எதிர்மின்வாய் குழிவான அமைப்பு உடையது. *A* என்னும் நேர்மின்வாய் *T* என்னும் இலக்குடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வழக்கமாக நேர்மின்வாய் பக்கவாட்டில் அமைந்த ஒரு குழாயில் வைக்கப் பட்டிருக்கும். எதிர்மின் வாயைப் பார்த்துக் கொண்டிருக்கும் இலக்கின் முன்பக்கம் எதிர்மின் கதிரின் அச்சில் இருந்து 45°

கோணத்தில் சரிவாக வெட்டப்பட்டு, எதிர்மின் வாயிலிருந்து விரைந்து வரும் எலெக்ட்ரான்கள் குவியும் புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. பொதுவாக, எக்ஸ்-கதிர் குழாய்களில் பயன்படுத்தப் படும் இலக்குகள் அதிக உருகு நிலை பிளாட்டினம், மாலுபடீனம் அல்லது டங்ஸ்டன் போன்ற உலோகங்களால் செய்யப்படு



படம் 124. வாயுக் குழாய்

கின்றன. ஆனால் குறிப்பிட்ட சில காரியங்களுக்காக உள்ள குழாய்களில் ஏற்ற பொருள்கள் இலக்குகளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. தனிவகை அமைப்பினை உடைய எதிர்மின் வாய், இலக்கு ஆகியவற்றைக் கொண்டு, ஏறக்குறைய செங்குத்தாக எதிர்மின் வாயைவிட்டு வெளிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கில் ஒரு புள்ளியில் குவியும்படி செய்யப்படுகின்றன. இதனால் இலக்கு எக்ஸ்-கதிர்களின் தோற்றுவாய் ஆகிறது. குழாயில் உள்ள வாயுவின் அழுத்தம் 0·0001 மி.மீ. அளவினதாக இருக்கிறது. 30,000 வோல்ட் முதல் 50,000 வோல்ட் வரையிலான தேவையான மின்னழுத்தம் ஒரு தூண்டு சுருளில் (induction coil) இருந்து பெறப்படுகிறது. இக் குழாய் நீண்ட நேரம் வேலை செய்ய வேண்டியிருந்தால் இதை நீரோட்ட முறையில் குளிரச் செய்வதற்கான தனிவகை அமைப்புகளை ஏற்பாடு செய்ய வேண்டும்.

வாயுக் குழாய் மட்டுமே மிக நீண்ட காலத்திற்கு, எக்ஸ்-கதிர்களின் ஒரே தோற்றுவாயாக இருந்து வந்தது. எதிர்மின் கதிர்க் கற்றையின் உறுப்புகளான எலெக்ட்ரான்கள் வாயுவின் அயனியாக்கத்தினால் உண்டாகின்றன. எனவே இதன் உபயோகத்திற்கு ஒரு வரம்பு ஏற்படுகிறது. முதலாவதாக, இதில் பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தம் குழாயில் உள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தைப் பொருத்திருக்கிறது. மிகக் குறைந்த வாயு அழுத்தத்தில் இச் சார்புநிலை அதிக அளவில் வேறுபடுகிறது. எனவே வெளியிடப்படும் எக்ஸ்-கதிர்களின் தன்மை, செறிவு இவை இரண்டையும், குறிப்பிட்ட கால அளவுக்கு மாறாமல், சீராக இருக்கச்

செய்வது கடினமாகிறது. இக் குழாயின் சுவர்கள், குழாயினுள் எஞ்சியிருக்கும் வாயுவைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக உறிஞ்சிவிடுவ தால், அயனியாக்கத்தின் மூலம் உண்டாகும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக் குறைந்து விடுகிறது. இதனால் எதிர்மின் கற்றை களின் செறிவு குறைந்துபோய், குழாய் மேலும் மேலும் கடினத் தன்மை (hard) அடைகிறது. ஒரு நேரத்தில் அப்போது கிடைக்கும் மின்னழுத்தத்தில் அது இயங்க முடியாத அளவுக்கு அதன் கடினத் தன்மை அதிகமாகிவிடுகிறது. பிளாட்டினம் பொதிக்கப்பட்ட கல்நார் (platinised asbestos) அல்லது ஹைட் ரஜனை உள்ளடக்கிய பலேடியம் (palladium) இவற்றைக் கொண்ட துணை மின்னிறக்கக் குழாய் (auxilary discharge tube) போன்ற சாதனங்களைப் பயன்படுத்தி, குழாயினை மிருதுவாக்கச் செய்த முயற்சிகள் பலனளிக்கவில்லை. மூன்றாவதாக, கடின எக்ஸ்-கதிர் களை (Hard X-Rays) உண்டாக்கக் குழாயில் உள்ள எல்லா வாயு வையும் நீக்கிவிடல் வேண்டும். ஆனால் அவ்வாறு வாயு நீக்கப் பட்ட, தண் எதிர்மின் வாயுடன் (cold cathode) கூடிய குழாயின் வழியே மிக உயர்ந்த மின் அழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தினாலும் மின்னிழப்பு ஏற்படாது. 1913-ல் டாக்டர் கூலிட்ஜ் (Dr. Coolidge) என்பார் வெப்ப எதிர்மின் வாயுடன் (hot cathode) கூடிய ஒரு எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயை உருவாக்கினார். அது வாயுக் குழாயில் காணப்பட்ட பல குறைகளை நீக்கிற்று.

நவீன கூலிட்ஜ் குழாய் படம் 125-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதன் எதிர்மின்வாய் *F*, டங்ஸ்டன் இழையால் ஆனது. அது *B* என்னும் சிறிய மின்கல அடுக்கினால் (battery) சூடுபடுத்தப் பட்டு எலெக்ட்ரான்களை உமிழ்கிறது. இந்த எலெக்ட்ரான்கள்

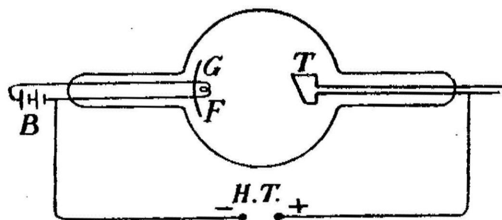


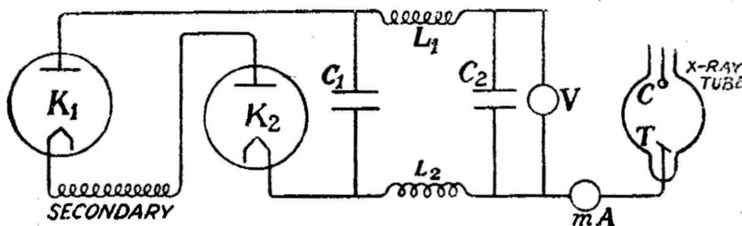
Fig. 125. The Coolidge tube.

கூலிட்ஜ் குழாய்

எதிர்மின் கற்றையை உருவாக்குகின்றன. *F*-க்கும் *T*-க்கும் இடையில் நிலவும் உயர்ந்த மின்னழுந்தங் காரணமாக இவ் வெலக்ட்ரான்கள், *T* என்னும் இலக்கினை நோக்கி முடுக்கப்படு கின்றன. குழாய் 0·0001 மி.மீ. அல்லது அதற்கும் குறைந்த

அழுத்தம் உடையதாகும்வரை வாயு நீக்கம் செய்யப்படுகிறது. விரைந்து சென்று இலக்கினைத் தாக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் கடின எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்குகின்றன. வழக்கமாக இழை (*F*), எலெக்ட்ரான்களை ஒரு புள்ளியில் குவிக்கக் கூடிய *G* என்னும் குழிவு கிண்ணத்தில் (cup) வைக்கப்பட்டிருக்கும். இலக்கு (*T*) ஒரு செப்புத் தண்டுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக் குழாய் அதிக நேரம் வேலை செய்தால் அதிகமான அளவு வெப்பம் உண்டாகிவிடுகிறது. அதை நீக்க குழாய்க்கு வெளியே நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் செப்புத் தண்டு நீரோட்டத்தால் குளிர்விக்கப்படு கிறது. இதற்குத் தேவையான மின்னழுத்தம், சாதாரணமாக ஒரு எழுமாற்றியின் (step-up. Transformer), துணைச் சுருளிலிருந்து (secondary) கிடைக்கிறது. மிக அதிக எண்ணிக்கைக் கொண்ட சுற்றுகளை உடைய இத் துணைச் சுருள் சில சுற்றுகளே உடைய முதற் சுருளிலிருந்து நன்கு காப்பிடப்பட்டுள்ளது. முதற் சுருளின் 200 வோல்ட் அழுத்தத்திலிருந்து கிடைக்கும் 50,000 வோல்ட் அல்லது அதற்கும் அதிகமான துணைச் சுருள் மின்னழுத்தம் (secondary voltage) திசைமாறும் தன்மை (alter-nating) கொண்டதாயிருக்கும் என்பது சொல்லாமலேயே விளங்கும் இதை எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் பயன்படுத்தினால் இலக்கினைப் பொருத்த வரை இழை எதிர் மின்னழுத்தத்தில் இருக்கின்ற முதற் பாதி சுழற்சியில் (cycle) மட்டும் குழாய் இயங்குவதால், எக்ஸ்-கதிர்கள் விட்டு விட்டு உண்டாக்கப்படுகின்றன. முன் கூட்டியே திருத்தப்பட்ட (rectified) அதிக மின்னழுத்தத்தை இக் குழாயில் பயன்படுத்தினால் அது உழைக்கும் காலம் அதிகமாகிற தென்பது நடைமுறையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. மேலும் எக்ஸ்-கதிர் குழாய், இடைவெளியின்றி தொடர்ந்து இயங்க நிலையான ஒரு திசை (*D.C.*) மின்னழுத்தம் வேண்டும். இதை அடைய, திருத்தப்பட்ட மின்னழுத்தத்தைச் சீராகச் செய்யும், மின்தேற்பி (condenser) மின் நிலைமச் சுருள் (inductance) இவற்றுடன் தக்க வாறு பொருத்தப்பட்ட கெனட்ரான்களின் அமைப்புடன் மாற் றியின் துணைச்சுருளின் முனைகள் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்வாறு திருத்தப்பட்ட மின்னழுத்தம் படம் 126-ல் காட்டி யுள்ளதுபோல் எக்ஸ்-கதிர் குழாயில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்குச் சம்பந்தப்படாத வகையில் குழாயின் வழியாகச் செல்லும் எலெக்ட்ரான் ஓட்டத்தின் அளவினை மாற்றி அமைக்க இயலும் என்பது கூலிட்ஜ் குழாயில் உள்ள நன்மை ஆகும். ஏனெனில், இதில் கிடைக்கும் எலெக்ட் ரான்களின் எண்ணிக்கை, வாயுக் குழலில் உள்ளதுபோல் மீதி யிருக்கும் வாயுவின் அளவினைப் பொறுத்தது அல்லது இதில் எலெக்ட்ரான்கள் சூடுபடுத்தப்பட்ட இழையால் உமிழப்படு

கின்றன. எனவே குழாயில் பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்குச் சிறிதும் தொடர்பற்றவாறு, இழையின் வெப்ப நிலையை மாற்றி எலெக்ட்ரான்களில் உமிழப்படும் அளவைக் கட்டுப்படுத்தலாம். இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும், எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினை இழைகளின் வெப்ப நிலையை மாற்றுவதன் மூலம் எளிதில் கட்டுப்படுத்தலாம். குழாயில் அமைந்த மிக அதிக வாயு நீக்கத்தின்



படம் 126. எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய்க்குக் கெனட்ரான்களைப் பயன்படுத்தல்

காரணமாக, எக்ஸ்-கதிர்களின் தன்மை, பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தையே பொறுத்திருக்கும். எனவே தன்மையையும் எளிதில் கட்டுப்படுத்தலாம். கூலிட்ஜ் குழாய்கள் சில நூறு வோல்ட்கள் முதல் ஒரு மிலியன் வோல்ட் வரையிலுள்ள மின்னழுத்தங்களில் இயங்குமாறு உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இக் குழாயினுள் வாயு இல்லாமையால், மாருத, நிலையான, ஒரு மின்னழுத்தத்தை நிலவச் செய்ய முடிகிறது. எனவேதான் கூலிட்ஜ் குழாய், வாயுக் குழாயைவிட நிலையாக இயங்கும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கிறது. எலெக்ட்ரான்களை ஒரு புள்ளியில் குவிக்க இயலாமையால், இலக்கின் பரப்பு முழுவதும் எக்ஸ்-கதிர்களின் தோற்றுவாயாகச் செயல்படுகிறது. இது கூலிட்ஜ் குழாயிலுள்ள ஒரு குறையாகும். ஆனால் சுழலும் நேர்மின் வாய்க் குழாய் (rotating anode tube) என்னும் செம்மைப்படுத்தப்பட்ட அமைப்பில் இக் குறை ஓரளவு நீக்கப்பட்டது. இப் புது அமைப்பில் எதிர்மின் வாய் ஒரு குச்சி இழையையும் (line filament), நேர்மின் வாய் சமப்படுத்தப்பட்ட டங்ஸ்டன் தட்டினையும் கொண்டிருக்கின்றன. இத் தட்டுச் சுழலும் காந்தப் புலம் ஒன்ருல் (a rotating magnetic field) மிகுந்த வேகத்தோடு சுழற்றப்படுகிறது, எந்த ஒரு கணத்திலும், தாக்கப்படும் இலக்கின் பகுதி ஒவ்வொன்றும், ஒரு புள்ளித் தோற்றுவாயாக (point source) செயல் புரியும்படி, அப் பகுதிகள் ஒவ்வொரு சுழற்சிக்கும், சுழற்சியின் சிறுபகுதி காலத்திற்கு மட்டுமே தாக்கப்படுகின்றன. மேலும் ஒவ்வொரு பகுதியும், சுழற்சியின் ஒரு சிறு பகுதியின் போது சூடாகி சுழற்சியின் மீதிப் பகுதி நேரத்தில் குளிர்ந்து போய்விடுகின்றன. எனவே அதிக மின்னோட்டத்தைப்

பயன்படுத்தி அதிக செறிவுள்ள எக்ஸ்-கதிர்களைப் பெறமுடியும். வெவ்வேறு பொருள்களை இலக்காகப் பயன்படுத்த வேண்டிய சமயங்களில் கழற்றி எடுக்கக்கூடிய (detachable) நேர்மின் வாய் கொண்ட குழாய்களைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவையும், தன்மையையும், செம்மையாகக் கட்டுப்படுத்தக் கூடிய, சிறப்பு அமைப்புகளாலும், நிலையான, அதிக வாயு நீக்க நிலையை நிலவச் செய்வதில் உள்ள குறைவான இடையூறுகள் காரணமாகவும், இந் நவீன, வெப்ப எதிர்மின் வாய்க் குழாய்கள் (hot cathode tubes) துல்லியமும் திட்பமும் தேவைப்படும் ஆய்வு களுக்கு உறுதுணை புரிகின்றன.

எக்ஸ்-கதிர்களைக் கண்டு அறிதல் :

எக்ஸ்-கதிர்கள், பின் வருவது போன்ற, அவைகளின் சில பண்புகளைக் கொண்டு, கண்டு அறியப்படுகின்றன. (a) ஒளிப் படத்தகட்டில் அவை ஏற்படுத்தும் மாறுதல்கள். (b) சில பொருள் களில் அவை ஏற்படுத்தும் ஒளிர்தல் (fluorescence). (c) வாயுக் களில் உண்டாக்கும் அயனியாக்கம் (ionisation). (d) பருப்பொருள் களில் (matter) ஊடுருவிப் பாயும் தன்மை ஆகியவையாகும். முதல் இரு பண்புகளும் மருத்துவத் துறையில் பெரும் பயன் அளிப்பவையாகும். இறுதியாகக் கூறப்பட்டுள்ள இரு பண்புகளும் அறிவியல் துறையில் என மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளன. ஆகவே அவ்விரு பண்புகளைப் பற்றி மட்டுமே இங்கு விளக்குவோம்.

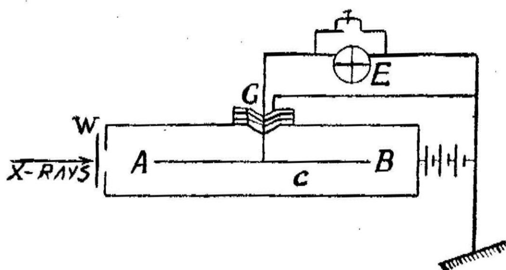
எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனியாக்கும் திறன் (The ionising power of X-Rays)

தொடக்கத்திலிருந்தே எக்ஸ்-கதிர்களின் அயனி ஆக்கும் திறன் அவைகளின் செறிவினைக் கணக்கிடுவதற்கான ஒரு வழியாக இருந்து வந்திருக்கிறது. எக்ஸ்-கதிர்கள், தாமாகவே நேரடியாக அயனியாக்கம் செய்வதில்லை. மறைமுக வழிகளில் தான் அயனியாக்கம் செய்கின்றன என்பதை நினைவில் வைத்துக் கொள்ள வேண்டும். இக் கதிர்கள் ஒரு வாயுவின் வழியாகச் செல்லும் போது ஒளி எலெக்ட்ரான்களைக் (photo electrons) கொண்ட இரண்டாம் நிலை நுண்ணிமக் கதிர் வீச்சு (secondary corpuscular radiation) அவ் வாயுவால் உமிழப்படுகிறது. ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் அவ் வாயுவின் மூலக் கூறுகள், அணுக்கள் ஆகியவைகளைத் தாக்குகின்றன. அவை பிளவுற்று நேர்மின் அயனிகளாகவும், எதிர்மின் அயனிகளாகவும் மாறுகின்றன. இவ் வயனிகளின் இயக்கத்தினால் அயனி மின்னோட்டம் (ionisation current) ஏற்படுகிறது. இந்த அயனி மின்னோட்டத்தின் அளவு, எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினைப் பொருத்திருக்கிற தெனக் காட்டப்

பட்டுள்ளது. எனவே அயனி மின்னேட்டத்தை அளவிடுவதன் மூலம் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினை அளவிடும் வழி கிடைக்கிறது.

அயனியாக்கக் கலம் (Ionisation Chamber) :

மிகு செறிவுநிலை (saturation) மதிப்பினை அடைந்த பின்னரும் கூட அயனியாக்க மின்னேட்டம் 10^{-13} ஆம்பியர் என்னும் அளவுடைய குறைந்த மதிப்பினைக் கொண்டிருப்பதால் இம் மின்னேட்டத்தினை அளப்பதற்கு மிக நுண்ணிய முறைகளைக் கையாள வேண்டும். முதலில், எக்ஸ்-கதிர்களைக் கொண்டு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட வாயு உள்ள அறை ஒன்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள, மின்னூட்டம் ஏற்றிய (charged) மின்காட்டியில் (electroscope) ஏற்படும் மின்னிழப்பு விகிதம் பயன்படுத்தப்பட்டது. பின்னர் அயனியாக்க அறை என்னும் துணைக் கருவிக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இக் கருவி ஒரு சிறு புழை (window) நீங்கலாக



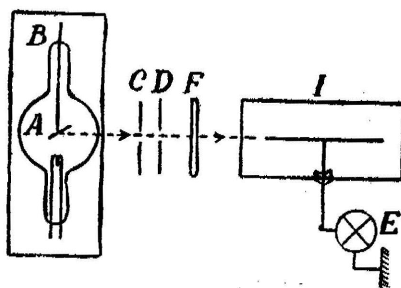
படம். 127. அயனியாக்க அறை

இரு பக்கமும் மூடப்பட்ட, உள்ளீடற்ற C என்னும் உலோக உருளையைக் கொண்டிருக்கிறது. அப் புழையில் எக்ஸ்-கதிர்களை உள்ளே அனுப்பக்கூடிய மெல்லிய அலுமினியத் தகடு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது, AB என்னும் ஒரு தண்டு, அறையினுள் மின் கடத்தாப் பொருளின் மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத் தண்டு E என்னும் கால்வட்ட மின் அளவியுடனே (quadrant electrometer) அல்லது நுட்பமிக்க பொன்னிலை மின்காட்டியுடனே இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 127) தண்டுக்கும் உருளைக்கும் இடையே, மின்கல அடுக்கு ஒன்றிலிருந்து கிடைக்கும் நூற்றுக்கணக்கான வோல்ட் மின்னழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தி மின்புலம் ஒன்று உண்டாக்கப்படுகிறது. மின்கல அடுக்கின் ஒரு முனை தரையிடப்படுகிறது (earthed). தரையிடப்பட்ட G என்னும் காப்பு வளையம் (guard ring) உருளையில் இருந்து தண்டிற்கு மின் கசிவு (leakage) ஏற்படாமல் தடுக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் இவ் வமைப்

பின் நுட்பத்திறன் (sensitivity) பயன்படுத்தப்படும் வாயுவின் தன்மையைப் பொருத்திருக்கிறது என்பது அறியப்பட்டது. பின் வரும் வாயுக்கள் செயல்திறன் ஏறு வரிசையில் கொடுக்கப் பட்டிருக்கின்றன. ஹைட்ரஜன், கார்பன் மோனுக்சைடு, காற்று, கார்பன்-டை-ஆக்சைடு, ஈதர் ஆவி, மற்றும் கார்பன்-டை-சல்பைடு. பொதுவாக மிருதுவான எக்ஸ்-கதிர்களுக்குக் கார்பன்-டை-ஆக்சைடும், கடின எக்ஸ்-கதிர்களுக்கு மீதைல் ப்ரோமைடும் (methyl bromide) உபயோகிக்கப்படுகின்றன. எக்ஸ்-கதிர்கள் புழை வழியாக அறையினுள் நுழைய, அறையில் உள்ள வாயு அயனியாக்கப்பட்டு, கடத்தும் திறன் உடையதாக்கப்படு கிறது. உருளைக்கும், தண்டுக்கும் இடையே உள்ள மின்புலத்தின் காரணமாகத் தண்டு மின்னூட்டம் பெறுகிறது. மின்னூட்டம் பெறும் வேகத்தினைக் கால்வட்ட மின் அளவி அளவிடுகிறது. மின் அளவியின் பொதுவான நுட்பத்திறன் வோல்ட்டுக்கு 5000 பிரிவுகள் (divisions) ஆகும். எனவே அயனி மின்னேட்டம் 10^{-15} ஆம்பியர் என்ருல் குறிமுள் வினடிக்கு 4·5 பிரிவுகள் வீதம் திருபும்கிறது இதை நன்கு காணலாம்.

எக்ஸ்-கதிர்களை உட்கவர்தல் (Absorption of X-Rays)

அலுமினியம் போன்ற நேர்த்தியான பொருட்களால் எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்படுவதை (absorption) வைத்து எக்ஸ்-கதிர் களின் தன்மையை அளவிடும் ஒரே முறை பல ஆண்டுகளாகப் பயன்பட்டு வந்திருக்கிறது. *B* என்னும் காரீயப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்-



படம் 128. எக்ஸ்-கதிர்களின் உட்கவர்தல்பற்றி அறிவதற்கான கருவி.

கதிர்கள் *C*, *D* என்னும் காரீயத் தகடுகளில் உள்ள துளைகள் (apertures) வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு நன்கமைந்த மெல்லிய கற்றை ஒன்று பெறப்படுகிறது. இக் கற்றை அயனியாக்க அறைக்குள் அனுப்பப்படுகிறது. *E* என்னும் மின்னளவி

காட்டும் மின்னோட்டத்தின் அளவும், மீச்செறிவு நிலை (saturation) அளவும் ஒன்றாகும்படி அயனியாக்க அறையின் மின்னழுத்தம் அமைக்கப்படுகிறது. (படம் 128) அயனி மின்னோட்டம் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவினைக் காட்டும் அளவாகும். கற்றை அறைக்குள் நுழைவதற்கு முன்பாக, F என்னும் அலுமினியத் தகடொன்றைக் கற்றையின் குறுக்கே வைக்க அயனி மின்னோட்டத்தின் அளவு குறைகிறது. இதிலிருந்து கற்றை உட்கவர் பொருள்களின் வழியே செல்லும்போது அதன் செறிவு குறைந்து குறைகிறது என்பது தெரிகிறது. இத்தகைய அமைப்பு முறையைக் கொண்டு எக்ஸ் கதிர்களின் தன்மையினை அளவிடுதல் கூடும்.

உட்கவர் பொருளாகிய அலுமினியத் தகட்டில் செங்குத்தாகப் படும் எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையின் செறிவு Io என்றும், உட்கவர் பொருளில் x தூரம் சென்ற பின்பு கற்றையின் செறிவு I என்றும் கொள்க. கற்றை மேலும் dx தூரம் செல்லும்போது செறிவில் ஏற்படும் குறைவு dI என்றால், $-\frac{dI}{dx}$ என்பது செறிவு குறையும் விகிதமாகும். $\frac{dI}{dx}$ என்பது I என்பதுடன் நேர்விகிதத் தொடர்பு கொண்டிருக்கும் எனக் கொண்டால்,

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I$$

என எழுதலாம். இங்கு μ என்பது உட்கவர் பொருளின் தனித் தன்மையைப் பொறுத்த விகித மாறிலி (constant of proportionality) இதனை உட்கவர் எண் (coefficient of absorption) என்று கூறுகிறோம்.

$$\frac{dI}{I} = -\mu . dx$$

தொகுநிலை காணல் (Integrating)

$$Log_e I = -\mu x + C \text{ என்றாகும்.}$$

ஆரம்ப நிலைகளைப் பயன்படுத்தும் போது—அதாவது $x = o$ ஆகவும் $I = Io$ ஆகவும் இருக்கும்போது,

$$C = log_e Io \text{ என ஆகும்.}$$

எனவே, $Log_e I = -\mu x + Log_e I_0$

சி

$$\text{அல்லது } Log_e\left(\frac{I}{Io}\right) = -\mu x.$$

$$\therefore \qquad I = I_0 e^{\mu x}$$

இத் தொடரிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர்களை உட்கவரும் செயல் எக்ஸ்பொனன்ஷியல் விதிக்குக் (exponential law) கட்டப்பட்டிருக்கின்றதென்பதை அறிகிறோம். x-ன் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக I-ன் மதிப்பு முதலில் விரைவாகவும் பின்னர் மிகமிக மெதுவாகவும் குறைகிறது. இறுதியாக $x = \infty$ ஆகும்போதுதான் I-ன் மதிப்புச் சுழி (zero) ஆகிறது. கொடுக்கப்பட்ட x என்னும் கனத்திற்கு, μ-ன் மதிப்பு எவ்வளவுக் கெவ்வளவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக் கவ்வளவுச் செறிவின் அளவு அதிகமாக இருக்கிறது.

ஆரம்பத்தில் இருக்கும் செறிவினைப் பாதி அளவிற்குக் குறைப்பதற்கு எவ்வளவு கனம் கொண்ட பொருள் தேவை எனக் கண்டு பிடித்து, அதைக் கொண்டு கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் உட்கவர் எண்ணுகிய μ-ஐ கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} = \frac{1}{2}$$

இங்கு x என்பது செறிவினை பாதி அளவாகக் குறைப்பதற்குத் தேவைப்படும் பொருளின் கனமாகும்.

$$\therefore \quad \mu = \frac{Log_e 2}{x} \quad \text{ஆகும்.}$$

எனவே, x-ன் மதிப்பினை அளவிட்டுவிட்டால் μ-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

உட்கவர் பொருளின் வெப்பநிலை, அழுத்தம் அடர்த்தி போன்ற பௌதிக நிலைகளையும் கணக்கில் சேர்த்துக்கொண்டு, நிறை உட்கவர் எண் $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ (mass absorption coefficient) என்னும் ஓர் அளவு திட்பமான (accurate) அளவுகளின் போது பயன்படுத்தப்படுகிறது. இங்கு ρ என்பது உட்கவர் பொருளின் அடர்த்தியைக் குறிக்கிறது. மேலே பெறப்பட்ட எக்ஸ் பொனன் ஷியல் விதியினை $\frac{\mu}{\rho}$-ன் அடிப்படையில் பின்வருமாறு கூறலாம்.

m என்பது உட்கவர் பொருளின் பொருண்மை என்றும் s என்பது மேற்பரப்பு (surface) என்றும் கொண்டால் $x = \frac{m}{\rho s}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே, } I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{m}{s}}$$

இங்கு $\frac{m}{s}$ என்பது தோற்றவியல் பொருண்மை (superficial mass) எனப்படும் —அதாவது மேற்பரப்பின் ஒரு சதுர அலகிற்குரிய பொருண்மை ஆகும்.

குறிப்பிட்ட கடினத் தன்மையுடைய—அதாவது ஒருபடித் தான (homogeneous)—கதிர்களுக்கு உரிய பொருண்மை உட் கவர்தல் எண், உட்கவர் பொருளின் தற்சிறப்பினைக் காட்டுவ தாகவும், பௌதிக நிலைகளுக்குக் கட்டுப்படாத தன்மையும் கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பினை உடையதாக இருக்கிறது.

எக்ஸ்-கதிர்களின் தன்மையை, அலுமினியத்திற்கு அவை களுக்குரிய உட்கவர் எண்ணின் மதிப்பினைக் கொண்டு கணக்கிடு கிறோம். μ-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருப்பின் கதிர்கள் கடினத் தன்மை கொண்டவையாகவும் எனவே நிச்சயமாக அதிக ஊடுறுவும் திறன் கொண்டவையாகவும் இருக்கும். μ-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருப்பின், கதிர்கள் மிருதுத்தன்மை கொண்டவை களாகவும் பொருள்களால் அதிக அளவு உட்கவரப்படுபவை களாகவும் இருக்கின்றன. ஆனால் பல்படித்தான (heterogeneous) கதிர்களுக்கு எக்ஸ்பொனன்ஷியல் விதி ஓரளவுதான் பொருந்தும். ஆனால் ஒருபடித்தான (homogeneous) கதிர்களுக்கு எக்ஸ் பொனன்ஷியல் விதி முற்றிலும் பொருந்துகிறது. அணு எடை அதிகமாக அதிகமாக பொருண்மை உட்கவர் எண் விரைந்து அதிகமாகிறது. இவ்வாறு $\frac{\mu}{\rho}$-ன் மதிப்பு அலுமினியத்தைவிட காரீயத்திற்கு (lead) மிகமிக அதிகமாக உள்ளது. எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயை இயக்குபவரை, அக் கதிரின் தீய விளைவுகளிலிருந்து காப்பாற்ற ஏன் காரீயத் திரைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்பதை இது விளக்கும்.

மேலே கூறிய, எக்ஸ்-கதிர்களின் உட்கவர்தல் பற்றிய ஆய்வு களில், அவ்வாறு உட்கவரப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் என்னவா கின்றன என்பதனைக் கூறவில்லை. உட்கவரப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் இரண்டாம் நிலைக் கதிர் வீச்சு (secondary radiations) என்னும்

சிக்கல் மிகுந்த நிகழ்ச்சி ஒன்றை உண்டாக்குகிறது, இக் கதிர் வீச்சில் வெவ்வேறு விதமான மூன்று வகைக் கதிர்கள் அடங்கி யுள்ளன.

(a) **சிதறிய கதிர்கள்** (Scattered rays) இவை படுகதிர் அல்லது முதல் கதிர்களைப் போன்றவைகளே. இவை உட்கவர் பொருளின் தன்மைக்கு ஏறத்தாழக் கட்டுப்பட்டதல்ல.

(b) **நுண்ணியக் கதிர்கள்** (Corpuscular rays) இவை விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்களால் ஆனவை. ஒளிமின் நிகழ்ச்சியால் (photo electric process) உண்டாக்கப்படுகின்றன. இவை உட்கவர் பொருளின் தன்மையைச் சாராமலும் ஆனால் முதன்மைக் கதிர்களின் (primary rays) தன்மையைச் சார்ந்தும் இருக்கின்றன.

(c) **தற்சிறப்புக் கதிர்கள்** (Characteristic rays) இவை தங்களின் பெயருக்கேற்ப, அவை எப் பொருளிலிருந்து வெளி வருகின்றனவோ அப் பொருள்களின் இயல்பினைச் சார்ந்திருக் கின்றன. இவை முதற் கதிர்களின் தன்மையைச் சார்ந்திருப்பன அல்ல.

$\frac{\mu}{\rho}$ என்பதால் அளவிடப்படுகின்ற முதற் கதிரின் தன்மை யைச் சார்ந்திருக்கும் முதல் இரு (a, b) விளைவுகளையும் நோக்க $\frac{\mu}{\rho}$ என்னும் எண்ணை, $\frac{\sigma}{\rho}$ என்னும் சிதறல் எண் (scattering coefficient) மற்றும் $\frac{\pi}{\rho}$ என்னும் மாற்ற எண் (transformation coefficient) ஆகிய இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம் எனத் தோன்று கிறது. இவ் விரு பகுதிகளும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களை உற்பத்தி செய்வதில் எவ்வளவு எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்பட்டன என்பதை வரையறுக்கின்றன.

எனவே, $\frac{\mu}{\rho} = \frac{\sigma}{\rho} = \frac{\pi}{\rho}$ ஆகிறது.

உட்கவர் எண்ணின் கூடுதல் மதிப்பில் பொதுவாகச் சிதறல் எண் சிறிய பகுதியாகவும், மற்றது பெரும் பகுதியாகவும் இருக்கின்றன. ஆனால் இலேசான தனிமங்களால் கடின எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்படும்போது மட்டும் சிதறல் எண் பெரும் பங்கு வகிக் கிறது. ஒளிமின் உமிழ்தலாக மாறும் உட்கவர்தல், தற்சிறப்புக் கதிர்களை உண்டாக்கும் நிகழ்ச்சியுடன் நல்ல தொடர்பு கொண்

டிருக்கிறது. நாம் பின்னால் காணப் போவது போல் உட்கவர்தலின் போது உட்கவர் பொருளின் அணுக்கள் அப் பொருளின் தற்சிறப்பினைக் காட்டக் கூடிய எக்ஸ்-கதிர்களை வீசும் நிலை பெறுகின்றன.

எக்ஸ்–கதிர்களின் அலை இயல்பு பற்றிய செய்முறை ஆய்வுகள்

(Experimental study of wave nature of X-Rays)

எக்ஸ்-கதிர்கள் சாதாரண ஒளியைப் போன்றே மின்காந்த அலைப் பண்பைக் கொண்டிருக்கிறன என்று நிலைநாட்ட சாதாரண ஒளியைப் போன்றே எக்ஸ்-கதிர்களை, பிரதிபலிக்கவும், முறிக்கவும், விளிம்பு விலகச் செய்யவும் (diffract), முனைவு கொள்ளச் செய்யவும் (polarise) முடியும் எனக் காட்டுவது இன்றியமையாததாகிறது. லாவேயும் (Lave) அவருடன் உழைத்தவர்களும், எக்ஸ்-கதிர்களை, படிகங்களைக் கொண்டு விளிம்பில் விலகல் செய்யும் முயற்சியில் கண்ட நல்ல முடிவுகளால், எக்ஸ்-கதிர்களின் அலையியல்புகளை விளக்கிடும் செய்முறைத் தேர்வுகள் தொடர்ந்தன. அவை எக்ஸ்-கதிர்களை, பிரதிபலிக்கவும், முறிக்கவும், முனைகொள்ளச் செய்யவும், சிதறச் செய்யவும் கூடும் என்பதை யாவரும் ஒப்பும் வகையில் மெய்ப்பித்தன. எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை இயல்பினைத் தெளிவாகக் காட்டிய அத்தகைய ஆராய்ச்சிகளை இங்குச் சுருங்கக் கூறுவோம்.

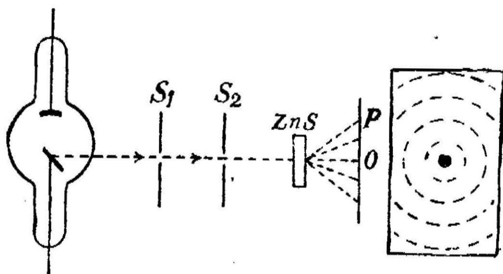
1. எக்ஸ்-கதிர்களின் விளிம்பு விலகல் (Diffraction of X-Rays)

எக்ஸ்-கதிர்கள் 10^{-8} செ.மீ என்னும் அளவினதாகிய குறைந்த அலைநீளம் உடையன. எனவே சாதாராண ஒளிக்குப் பயன்படுத்துகின்ற — செ. மீட்டருக்கு 6000 கோடுகள் வரை கொண்ட — கீற்றணியைக் (grating) கொண்டு, எக்ஸ்-கதிர்களில் குறிப்பிடத்தக்க விளிம்பு விலகல் ஏற்படுத்த இயலாது. ஆனால், ஒழுங்காக வகைப்படுத்தி வைக்கப்பட்ட அணுக்களை உடைய ஒரு படிகம் (crystal) எக்ஸ்-கதிர்களை விளிம்பு விலகல் செய்வதற்கேற்ற இடைவெளியுடன் கூடிய இயற்கைக் கீற்றனியாக (natural grating) இருக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவமைப்பில் ஒழுங்காக அமைக்கப்பட்ட அணுக்கள் கிராதிக் கோடுகளாகவும், இரு அணுக்களுக்கு இடையே உள்ள 10^{-8} செ. மீ. என்னும் அளவினதாய் அமைந்த இடைத் தூரம் கீற்றனிக் கூறு (grating element) ஆகவும் செயல்படுகின்றன. எனினும் படிகக் கிராதி (crystal grating) ஒளியியல் கிராதியிலிருந்து ஒரு முக்கியமான வகையில் வேறுபட்டுள்ளது. விளிம்பில் விலகல் செய்யும் படிகக் கிராதியின் அணு மையங்கள்

ஒரே தளத்தில் அமையாது, பலதளங்களில் அமைந்துள்ளன. ஆனால் ஒளியியல் கீற்றனியில் (optical grating) அவை ஒரே தளத்தில் அமைந்துள்ளன. எனவே படிகத்தை ஒரு முப்பரிமாண இடக் கீற்றனி (three dimensional spacc grating) என்று கூறலாம். அது இரு பரிமாண தளக்கீற்றனி (two dimensional plane grating) அல்ல. ஒரு குறுகிய எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையை மெல்லிய படிகத்தின் வழியே செலுத்தினால், விளிம்பில் விலக்கம் ஏற்பட்டுக் கதிர்கள் பல்வேறு குறிப்பிட்ட திசைகளில் வெளியேறி கற்றையின் திசைக்குச் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்ட ஒளிப்படத்தகட்டில் சமச்சீரமைப்பு (symmetric) உடைய புள்ளி வடிவத்தை (pattern of spots) உண்டாக்கும் என்று லாவே கூறினார்.

லாவே, ஃப்ரட்ரிச், நிப்பிங் ஆகியோரின் செய்முறை : (Experiment of Lave, Friedrich and Knipping)

1913-ல் லாவே, ஃப்ரட்ரிச், மற்றும் நிப்பிங் ஆகியோருடன் சேர்ந்து, படிகங்களைக் கொண்டு எக்ஸ்-கதிர்களில் விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்கும் செய்முறைத் தேர்வில் ஈடுபட்டார். ஒரு குறுகிய எக்ஸ்-கதிர் கற்றையை மெல்லிய துத்தநாக சல்பைடு (Zns) படிகத்தின் வழியாகச் செலுத்தி வெளி வந்த கற்றையை



படம் 129. கதிர் விளிம்பில் உண்டாகும் லாவேயின் கருவி

P என்னும் ஒளிப்படத்தகட்டில் விழச் செய்தார். (படம் 129) பல மணி நேரப் பதிவுக்குப் பின்னர் கழுவிப்பார்த்தபோது கதிர்க் கற்றை நேராகச் சென்று தாக்கிய O என்னுமிடத்தில் காணப்பட்ட கரும்புள்ளியுடன் கூட ஒழுங்காக அமைந்த பல மங்கலான புள்ளிகளும் காணப்பட்டன. இவை, லாவே எதிர்பார்த்த வண்ணம் படிகத்தின் பல தளங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் விளிம்பில் விலக்கமடைந்திருக்கின்றன என்பதைக் காட்டுகின்றன. லாவேயின் புள்ளிகள் என்று கூறப்படும் இப் புள்ளிகள் படிகம் சார்ந்திருக்கும் குறிப்பிட்ட படிக அமைப்புக்கு (crystalline system) ஏற்ற வடிவ இயல்பு கொண்ட உருவில் அமைகின்றன.

படிகக் கிராதி பற்றிய கொள்கை – ப்ராக்கின் விதி

(Theory of Crystal Grating—Bragg's Law)

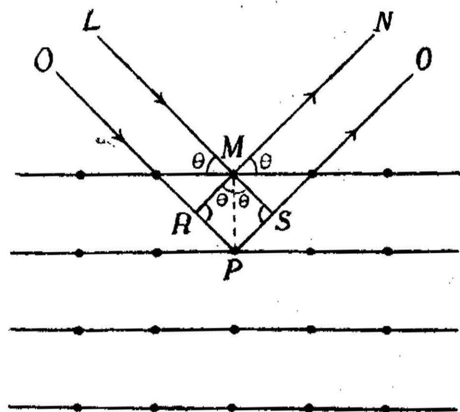
படிகம் முப்பரிமாணக் கிராதியாக அமைந்துள்ளதால், லாவே புள்ளிகள் பற்றிய கொள்கை சிக்கல் நிறைந்ததாகவே இருக்கும். ஆனால் பேராசிரியர் ப்ராக், படிகத்தில் உள்ள பலதளங்களில் பிரதி பலிப்பு ஏற்படுவதாக வைத்துக்கொண்டு விளிம்பில் விலகல் வடிவ அமைப்பினை (diffraction pattern) எளிதாக விளக்கினார். ஒரு படிகத்தின் அணுக்கள், வெவ்வேறு தளங்களில் அதிக அணுக்களைக் கொண்ட பல இணையான படலங்கள் (layors) அமையுமாறும், ஒவ்வொரு தளமும் அதற்கே உரிய படல இடை வெளியுடனும் (spacing) அமையுமாறு முப்பரிமாணத் திட்டத்தில் வரிசைப்படுத்தி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சில தளங்கள் மற்றவைகளைவிட அதிக அளவு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஒரு எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றை படிகத்தில் விழ, படிகத்தின் ஒவ்வொரு அணுவும் கதிர்களைச் சிதறச் செய்யும் புள்ளியாகச் (scattering centre) செயல்பட்டு இரண்டாம் நிலை சிற்றலைகளை (secondary wavelets) உமிழ்கின்றன. அச் சிற்றலைகளின் உறை (envelope) ஒளியியல் துறையில் ஹைஜீன் (huyghen's) என்பார் கூறிய அமைப்புப்படி அமைந்த பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலை முகப்பினைக் குறிக்கிறது. எனினும் எக்ஸ்-கதிர்கள், சாதாரண ஒளியை விட அதிக ஊடுருவும் திறன் கொண்டன ஆதலால் அணுக்களின் ஒவ்வொரு படலத்திலும் ஓரளவு பிரதிபலிப்புதான் (partial reflection) ஏற்படுகிறது. பல படலங்களை ஊடுருவிய பின்னர்தான் கதிர்கள் முழுதும் உட்கவரப்படுகின்றன.



பேராசிரியர் ப்ராக்

குறிப்பிட்ட ஒரு தளத்தில் அமைந்த பல இணையான படலங்களில் எக்ஸ்-கதிர்கள் பிரதிபலிக்கப்படுவதற்கான கட்டுப்பாடுகள் (conditions) பின்வருமாறு பெறப்படுகின்றன. λ என்னும் ஒரே அலைநீளங் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்க்கற்றை இத் தளத்தில் θ° சாய்

கோணத்தில் (glancing angle) படுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 130) இதே தளத்தில் (plane) அமைந்த பல படலங்களில் (layers) கற்றை ஓரளவு பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு பிரதிபலிக்கப் பட்ட கதிர்கள் ஒத்த அதிர்வுநிலை (same phase) கொண்டனவாக இருப்பின் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டுகின்றன. (reniforce) எனவே,



படம் 130. படிகத் தளத்தில் ஏற்படும், எக்ஸ்-கதிர்களின் பிரதிபலிப்பு பிராக் விதி

செறிவுமிக்க பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றை ஒன்று θ சாய்கோணத்தில் வெளிவருகின்றது. பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைகள் ஒத்த அதிர்வுநிலை உடையனவாக இருப்பதற்கான கட்டுப்பாடாவது : ஒரு படலத்தால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைக்கும், அப் படிகத்தை அடுத்துள்ள படலத்தால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைக்கும் உள்ள பாதை வேறுபாடு (pathdifference) முழு அலைநீளங்களாக (λ) இருத்தல் வேண்டும். அல்லது அலை நீளத்தின் முழு மடங்குகளாக ($n\lambda$) இருத்தல் வேண்டும். இதனை இங்குப் பயன்படுத்துவோம். ஒரு கற்றையின் இரு இணைக் கதிர்களான LMN மற்றும் OPQ என்பவைகளை எடுத்துக்கொண்டு அவை M மற்றும் P என்னும் அடுத்தடுத்துள்ள படலங்களில் அமைந்த அணுக்களால் பிரதிபலிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். P என்னும் அணு M என்னும் அணுவுக்கு நேர்க் கீழே இருக்கிறது. OPQ என்னும் கதிரின் பாதை LMN என்னும் கதிரின் பாதையைவிட நீளம் அதிகம் உடையது. இவ்விரு கதிர்களினிடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு $(RP+PS)$ ஆகிறது. இங்கு R மற்றும் S என்பன M என்னும் புள்ளியிலிருந்து முறையே OP மற்றும் PQ இவைகளுக்கு வரையப்பட்ட குத்துக் கோடுகளின் பாதங்கள் (feet) ஆகும். இப் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$-க்குச் சமமாக அமைந்தால் கதிர்கள்

ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டுகின்றன. எனவே எக்ஸ்-கதிர்கள் பிரதிபலிக்கப்படுவதற்கான முறையில் அமைய,

$$RP + PS = n\lambda$$

ஆதல் வேண்டும். படத்திலிருந்து,

$$RP = PS = MP \sin\theta = d \sin\theta$$

இங்கு d என்பது அடுத்தடுத்துள்ள இரு படலங்களுக்கிடையே உள்ள தூரமாகும்.

$$\therefore \quad 2d \sin\theta = n\lambda.$$

இத் தொடர்பு ப்ராக்கின் விதி (Bragg's law) எனப்படும். இது சாதாரண தளக்கீற்றனியின் (plane grating) விளிம்பில் விலகல் தொடர்பினை ஒத்திருக்கிறது. இது, குறிப்பிட்ட n, λ மற்றும் d ஆகியவற்றின் மதிப்புகளுக்கு θ என்னும் கோணத்தின் மதிப்பினுல் வரையறுக்கப்பட்ட திசையில் மட்டுமே பிரதிபலிப்பு ஏற்படும் என்பதைக் காட்டுகிறது. மற்றத் திசைகளில் ஒன்றை ஒன்று அழிக்கும் வகையில் அலைகளின் குறுக்கீடு (interference) நிகழ்கிறது. n-க்கு 1, 2, 3........... என அடுத்தடுத்து மதிப்பிட்டு θ-ன் தொடர்ந்த பல மதிப்புக்களைப் பெறலாம். அவ்வாருன θ-ன் மதிப்புகளுக்குரிய, முதலாவது, இரண்டாவது, மூன்ருவது........ போன்ற வரிசையினைக் (order) கொண்ட நல்ல பிரதிபலிப்புகள் (sharp reflections) உண்டாகின்றன.

மேலே குறிப்பிட்ட தொடர்பினைப் பெறுவதில், எளிமை கருதி நாம் M மற்றும் P என்பன அடுத்தடுத்த படலங்களில் ஒன்றின் நேர்க்கீழே மற்றது இருக்கிறது என்று கொண்டோம். ஆனல் அலை நீளமும், படுகோணமும் ப்ராக்கின் விதிக்குக் கட்டுப்பட்ட தொடர்பினைக் கொண்டிருப்பின் பிரதிபலிக்கும் அணுக்கள் அடுத்தடுத்த படலங்களில் அமையினும், அவ்வாறின்றி d-ன் முழு எண் மடங்காகிய தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்டுள்ள இரு படலங்களில் அமைந்திருப்பினும், படுதளத்தில் (plane of incedcncei) அமைந்தவை ஆயினும் அல்லது அவ்வாறு அமையாதவை ஆயினும் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டும் வகையில் குறுக்கிடும் சிற்றலைகளை உண்டாக்குதல் கூடும் எனக் காட்டலாம்.

இப்போது நாம் லாவே புள்ளிகளை விளக்கக் கூடிய நிலையில் இருக்கிருேம். வெவ்வேறு தளங்களில் அமைந்த இணையான அணுப் படலங்களின் தொகுதிகளை (sets) எடுத்துக்கொண்டு,

ப்ராக்கின் விதியை ஒவ்வொரு படலத் தொகுதிக்கும் பயன்படுத்த லாம். ஒவ்வொரு தளத்திற்கும் θ-ன் மதிப்பு வெவ்வேருக இருக்கும். ஒவ்வொரு படலத் தொகுதியும் அவற்கே உரிய இடை வெளி மதிப்பு d-ஐ பெற்றிருக்கும். படிகத்தை ஊடுருவிச் செல்லும் எக்ஸ்-கதிர்கள் ப்ராக்கின் விதியை நிறைவு செய்யும் விதத்தில் அமைந்த அலை நீளத்தை கொண்டிருந்தால் மட்டுமே எந்த ஒரு ஜோடிப் படலங்களாலுைம் அவற்ருல் அவை பிரதி பலித்தல் கூடும். லாவேயின் செய்முறைத் தேர்வில் பயன்படுத் தப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் ஒரே தன்மையற்ற பல்வேறு அலை நீளங் களைக் கொண்ட கலவை ஆனதால், வெவ்வேறு ஜோடி இணைப் படலங்கள் ப்ராக்கின் விதிப்படி அவற்றிக்குப் பொருத்தமாய் அமைந்த அலை நீளங் கொண்ட கதிர்களைப் பிரதிபலித்திருக்கின் றன. இவ்வாறு, படிகத்தில் குறிப்பிட்டவாறமைந்த அணுக்களைப் பொறுத்து ஒரு ஒழுங்கான வடிவ அமைப்பில் (pattern) பல செறிவு மிக்க புள்ளிகள் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. படுகற்றையில் எண்ணில்லாத பல அலை நீளங்கள் இருப்பினும், படிகத்தில் மொத் தத்தில் மிக அதிக எண்ணிக்கைக் கொண்ட அணுக்கள் இருப் பினும், தேவையான அளவுக்கு அதிக அணுக்களைக் கொண்ட இணையானப் படலத் தொகுதிகள் ஒரு சிலவே இருப்பதால், (ஒளிப்படத் தகட்டில்) மிகச் சொற்பமான புள்ளிகளே கிடைக் கின்றன.

இவ்வாறு விளக்கப்பட்ட லாவேயின் விளிம்பில் விலகல் வடிவ அமைப்புகள் (diffraction pattern) எக்ஸ்-கதிர்களைச் சாதாரண ஒளிக் கதிர்களைப் போலவே விளிம்பில் விலகச் செய்ய இயலும் என்பதை ஐயத்திற்கு இடமின்றி நிலை நாட்டின. மிக அண்மைக் காலத்தில் எக்ஸ்-கதிர்களின் நேரடியான குறுக்கீடு நிகழ்ச்சி (direct interference phenomena) செய்முறை மூலம் விளக்கப் பட்டுள்ளது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. எடுத்துக்காட்டாக 1929-ல் லார்சன் என்பார் 6μ அகலமுள்ள பிளவினைக் (slit) கொண்டு ஒளியில் நிகழ்ச்சி போன்றே விளிம்பில் விலகல் வடிவ அமைப்பினைப் பெற்ருர். லாய்ட் ஆடி அமைப்பினைக் (Lloyd's mirror arrangement) கொண்டு லினிக் (Linic) என்பார் எக்ஸ்-கதிர்களின் குறுக்கீடு வரிப்பட்டைகளை (interference fringes) உண்டாக்கினர். மெல்லிய படலங்களைக் கொண்டும் குறுக்கீடு வரிப்பட்டை பெறப்பட்டது.

II. எக்ஸ்-கதிர்களின் பிரதிபலிப்பு (Reflcation of X-Rays)

$n\lambda = 2d \sin\theta$ என்னும் ப்ராக்கின் விதி ஒழுங்காக வரிசைப் படுத்தப்பட்ட, இணையான படலங்களில், எக்ஸ்-கதிர்கள் பிரதி

பலிக்கின்றன என்னும் ஊகத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டது. செய்முறைத் தேர்வின் மூலம் இச் சமன்பாட்டினை மெய்ப்பித்து விட்டால் அதன் மூலம் எக்ஸ்-கதிர்கள், சாதாரண ஒளியைப் போலவே பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன என்பது உறுதியாகிவிடும். ப்ராக் இப் பணியை மேற்கொண்டு, படிக எக்ஸ்–கதிர் நிறமாலை அளவி (crystal X–ray spectrometer) என்னும் கருவியை உருவாக்கினார். அதில் படிகம் லாவேயின் செய் முறையில் அமைந்தது போன்று உட்செலுத்தும் கிராதியாக (transmission grating) பயன்படுத்தப்படாமல், பிரதிபலிக்கும் கீற்றணியாக (reftection grating) பயன்படுத்தப்பட்டது.

பிராக்கின் எக்ஸ்–கதிர் நிறமாலை அளவி

(Bragg's X-Ray Spectrometer)

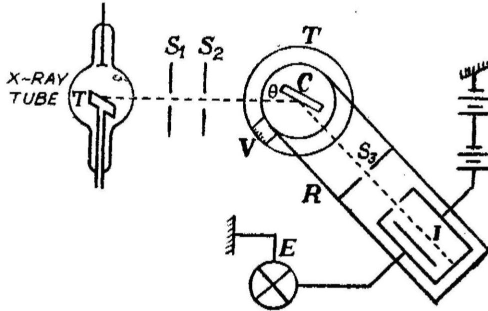
படம் **131**–ல் ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவி காட்டப்பட்டுள்ளது. இது ஒளியியல் நிறமாலை அளவியைப் (optical spectrometer) போன்ற அமைப்பினை உடையது. இதற்கு மூன்று உறுப்புகள் அமைந்துள்ளன. அவையாவன :

(a) தக்கவாறு ஒரு வரிப்படுத்தப்பட்ட கதிர்களைத் தருகின்ற தோற்றுவாய்.

(b) அளவுகள் குறிக்கப்பட்ட, வெர்னியர் (vernier) அமைப்புடன் கூடிய, படிகம் பொருத்துவதற்கான, வட்டமேசை.

(c) கண்டு அறியும் (detecting device) அமைப்பு எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிரும் கதிர்கள், S_1 மற்றும் S_2 என்னும் பிளவுகளின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு மெல்லிய ஒரு கற்றையாக ஒரு வழிப்படுத்தப்படுகிறது. இக் கற்றை T என்னும் வட்ட மேசையின் மேல் நிறுத்தப்பட்டுள்ள படிகத்தின் செதுக்கப்பட்ட முகப்பில் (cleavage face) விழுகிறது. வட்ட மேசை குத்தான ஒரு அச்சில் சுழலவல்லது. அது இருக்கும் இடத்தை அளவு குறிக்கும் கோடுகளையும், V என்னும் வெர்னியர் அமைப்பினையும் கொண்டு திட்பமாக அறியலாம். சாதாரணமாக இந்துப்பு (rock salt) கால்சைட் (calcite), மைக்கா (mica) மற்றும் குவார்ட்ஸ் (quartz) ஆகியவற்றின் படிகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. படிக மேசை சுழலும் அதே அச்சில் சுழல்கின்ற R என்னும் புயத்தில் I என்னும் அயனியாக்க அறை ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இப் புயத்தின் இடத்தைத் திட்பமாக அறிவதற்காக அதற்கென அமைந்த ஒரு வெர்னியர் (இது படத்தில் காட்டப்படவில்லை)

பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. E என்னும் மின் அளவியால் (electro meter) அறையின் அயனியாக்க நிலையும் (degree of ionisation) அதன் வாயிலாக அவ் வறையில் நுழையும் எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவும் அளவிடப்படுகின்றன. அறையினுள் சல்பர்-டை-ஆக்சைடு (SO_2) அல்லது மீதைல் புரோமைடு (methyl bromide) வாயு பயன்படுத்தப்படுகிறது. S_3 என்னும் மூன்ருவது பிளவு



படம் 131. ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறவாலை அளவி

அங்குமிங்குமாகச் சிதறப்பட்ட சில கதிர்வீச்சுகளிலிருந்து (scattered radiation) அயனியாக்க அறையினைப் பாதுகாக்கும் அமைப்பாகப் பயன்படுகிறது. படுகற்றை படிகத்தின் முகப்பில் θ என்னும் கோணத்தில்படின் பிரதிபலிக்கும் கற்றை, படு கற்றையின் திசையுடன் 2θ கோணத்தை உண்டாக்கும் எனவே அயனியாக்க அறையைச் சுமக்கும் புயத்தை அத் திசையில் பொருந்துமாறு அமைத்தால் அது பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றையை ஏற்கும் நிலையில் அமையும். இக் கற்றையின் செறிவினை மின் அளவியின் குறிகாட்டி திரும்புகின்ற வேகத்தைக் கொண்டு திட்ப மாக அளவிடலாம். ஒளிப்படமாகப் பதிவு செய்ய விரும்பினுல் அயனியாக்க அறைக்குப் பதிலாக அதனிடத்தில் ஒளிபடப் பெட்டி ஒன்றைப் பொருத்த வேண்டும்.

கொள்கை (Theory)

ஒரே தன்மை கொண்ட (அலை நீளம் λ) எக்ஸ்-கதிர்களையும், படிகத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட தளம் அல்லது முகப்பினை (குறிப்பிட்ட d மதிப்பு கொண்டது) பயன்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். ப்ராக் கியின் சமன்பாடு உண்மை யென்ருல் n என்பது 1, 2, 3........ போன்ற மதிப்புக்களைப் பெறும்போது $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.........போன்ற வரையறுக்கப்பட்ட சாய்கோணங்களில் பிரதிபலிப்பு ஏற்பட்டாக வேண்டும். இக் கோணங்களின் மதிப்பு பின்வரும் சமன்பாடு களிலிருந்து கிடைக்கிறது.

$$\lambda = 2d \sin \theta_1 \qquad n = 1 \text{ என இடும்போது}$$

$$2\lambda = 2d \sin \theta_2 \qquad n = 2 \text{ என இடும்போது}$$

$$3\lambda = 2d \sin \theta_3 \qquad n = 3 \text{ என இடும்போது}$$

இத் தொடர்புகள் $\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 = 1 : 2 : 3$ எனக் காட்டு கின்றன.

எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட படிக முகப்பில் இருந்து, எந்த சாய்கோணத்தில் பிரதிபலிப்பு ஏற்படுகிறது என்பதை அளந்து, மேற்கூறிய விகிதச் சமன்பாடு சரியென மெய்ப்பித்தால் ப்ராக்கின் ஊகம்—எக்ஸ்-கதிர்கள் சாதாரண ஒளியைப் போன்றே பிரதிபலிக் கப்படுகின்றன—மெய்ப்பிக்கப்பட்டதாகிறது.

படுகதிர் ஒரே அலைநீளங் கொண்டதாக இல்லாது வெவ்வேறு அலைநீளங்களை கொண்டதாக இருந்தால், படிகம் அமைக்கப் படும் ஒவ்வொரு நிலையிலும் அந் நிலையில் ப்ராக்கின் விதிக்குக் கட்டுப்படுகின்ற அலைநீளங் கொண்ட கதிர்கள் மட்டும் பிரதிபலிக் கின்றன. எனவே, படிகம் சுழற்றப்படுகையில் ப்ராக்கின் விதிக்குக் கட்டுப்படுகின்ற மற்ற அலைநீளங் கொண்ட கதிர்களும் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு பல அலைநீளங் கொண்ட சாதாரண ஒளியைக் கொண்டு பெறுவதைப் போன்றே எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை (X-ray spectran) பெறப்படுகிறது. n பல முழு எண் மதிப்புகளை (integral values) பெறும்போது இந் நிறமாலை பல வரிசைகளைப் பெறுதல்கூடும். $n = 1$ ஆக இருக்கும்போது நிறமாலை யின் முதல் வரிசை (first order), $n = 2$ என்றால் இரண்டாவது வரிசையும் (second order) இவ்வாறே மற்ற மற்ற வரிசைகளையும் அடைகிறோம்.

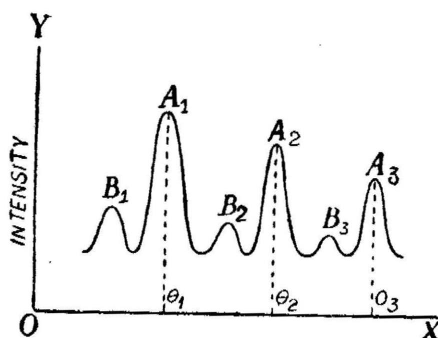
நாம் அளவிடக்கூடிய கோணத்தில் எக்ஸ் கற்றையின் பிரதி பலிப்பு ஏற்பட வேண்டுமென்றால், அணுப்படலங்களின் இடைத் தூரமாகிய d-ன் மதிப்பு λ-வுடன் ஒப்பிட பெரியதாக இருக்க லாகாது என்பதை நினைவில் கொள்ளுதல் வேண்டும். ஏனெனில் $\theta \propto \sin\theta = \frac{n\lambda}{2d}$ λ-வுடன் ஒப்பிட d பெரிதாக இருப்பின் θ-ன் மதிப்பு மிகக் குறைவாகப் போய்விடும். d-ன் மதிப்பு λ-ன் மதிப் புக்கு ஓரளவு சரியாக அமைந்த படிகங்களைத் தேர்ந்தெடுத்து அவைகளைக் கொண்டு தேவையான செய்முறைக் குறிப்புகளை (data) பெறுதல் கூடும்.

செய்முறை :

எக்ஸ்-கதிர் கற்றையைப் படிகத்தின் முகப்பில் விழுமாறு செய்த பின்னர், T என்னும் வட்டமேசை சிறிது சிறிதாகச் சுழற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு மிகச்சிறிய அளவிலிருந்து தொடங்கி, சாய் கோணம் அதிகமாக்கப்படுகிறது. மேசையின் நிலையினை (position) வைத்து எளிதில் அறியக்கூடிய குறிப்பிட்ட θ என்னும் சாய் கோணத்திற்கு, படிகத்தின் முகப்பினுல் பிரதிபலிக்கப்படும் கற்றை அயனியாக்க அறைக்குள் நுழைவதற்கேற்றவாறு R என்னும் புயம் படுதிசையிலிருந்து 2θ கோண அளவு சாய்த்து வைக்கப்படுகிறது.

எலெக்ட்ராமீட்டரின் (electrometer) குறிமுள் திரும்பும் வேகம் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றையின் செறிவினை அளவிடுகிறது. படிக மேசை எந்தகோண அளவில் திருப்பப்படுகிறதோ அதைப் போன்று இருமடங்கு கோண அளவில் அயனியாக்க அறையைத் திருப்புதல் வேண்டும் என்பதை நினைவில் வைத்துக்கொண்டு மற்றச் சாய்கோணங்களுக்குரிய குறிப்புகள் எடுக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட குறிப்புகளைக் கொண்டு செறிவுக்கும் சாய் கோணத்திற்குமாக ஒரு வரைபடம் (graph) வரையப்படுகிறது.

அவ்வாறு வரையப்பட்ட வளைகோடு (curne) படம் 132-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதற்கு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை யென்று பெயர். கூரிய உச்சிகள் குறிப்பிட்டுக்காட்டுவது போன்று θ-ன் சில குறிப்பிட்ட மதிப்புகளுக்குத்தான் செறிவு அதிகமாக



படம் 132. எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை

இருக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தின் பக்கத்தில்—θ_1 அல்லது θ_3 அல்லது θ_3 இவைகளின் அருகில்—ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட—இரண்டு உச்சிகள் A_1 B_1., A_2, B_2., A_3, B_3 ஆகியவை

படத்தில் காணப்படுகின்றன. இவ்வுச்சிகள், எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் படுகதிரில் உள்ள இருவேறு அலை நீளங்கள் காரணமாக ஏற்பட்டவை. A_1, A_2 மற்றும் A_3 என்னும் கூரிய உச்சிகளை எடுத்துக்கொண்டு வரைப்படத்தின் மூலம் அவைகளுக்குரிய சாய்கோணங்களாகிய θ_1, θ_2 மற்றும் θ_3 என்பவைகளை அறியலாம். $\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 = 1 : 2 : 3$ என்னும் சமன்பாடு பெருமளவு ஒத்திருக்கிறது. இதிலிருந்து அவ்வுச்சிகள், முதல், இரண்டாவது மற்றும் மூன்றாவது வரிசை களைக் குறிக்கின்றன என்பது தெரிகிறது. இது போலவே சிறிய உச்சிகளாகிய B_1, B_2 மற்றும் B_3 இவைகளுக்குரிய சாய்கோணங் களை அளந்து அவைகளின் நெடுக்கைகளும் (sines) அதே விகிதத்தில் $(1 : 2 : 3)$ அமைந்திருப்பதைக் காண்கிறோம். ப்ராக்கின் விதியைப் பயன்படுத்தி, A_1, A_2 மற்றும் A_3 ஆகியவை ஒரே அலைநீளங் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்களைக் குறிப்பிடுவன. இவ்வாறே B_1, B_2 மற்றும் B_3 என்பன A_1, A_2 மற்றும் A_3 இவை களின் அலை நீளத்தினின்றும் வேறுபட்ட ஒரு அலைநீளத்தைக் குறிப்பிடுகின்றன எனக்காட்டலாம்.

$A_1 B_1$ என்பன நிறமாலையின் முதல் வரிசையினையும், $A_2 B_2$ என்பன இரண்டாவது வரிசையினையும் இவ்வாறே மற்றவை மற்ற மற்ற வரிசைகளையும் குறிப்பிடுகின்றன. மேற்கூறியவாறு ப்ராக் தனது படிக எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியின் உதவியால் $n\lambda = 2d \sin\theta$ என்னும் சமன்பாட்டினை செய்முறைமூலம் தெளிந்து சாதாரண பிரதிபலித்தலின் விதிகளுக்கு எக்ஸ்-கதிர்களும் உட்படு கின்றன என்பதை நிலைநாட்டினார்.

குறிப்பு :

(a) நிறமாலையின் வரிசை அதிகரிக்க, அதிகரிக்க பிரதிபலிக் கப்பட்ட கதிரின் செறிவு குறைந்துவிடுகிறது.

(b) எக்ஸ்-கதிர் குழாயில் இலக்காகப் (target) பயன்படுத்தப் பட்ட உலோகம், செய்முறையில் பயன்படுத்தப்பட்ட படிகம், மற்றும் பிரதிபலிக்க உபயோகப்படுத்தப்பட்ட படிகத்தின் முகப்பு இவைகளைப் பொறுத்து உச்சிகளின் இடங்கள் அமைகின்றன. இதிலிருந்து ஒவ்வொரு உலோகத்திற்கும் அதற்கென அமைந்த தற்சிறப்பு கதிர்கள் உண்டு என்பதும், ஒவ்வொரு படிகமும், அவற்றின் ஒவ்வொரு பிரதிபலிக்கும் தளமும் அவற்றிற்கே உரிய கீற்றணி இடை வெளியை (grating space) கொண்டிருக்கின்றன என்பதும் தெரிகின்றது.

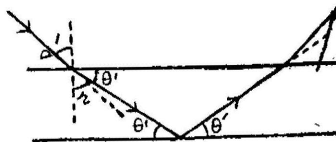
(c) பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றையின் செறிவு ஒரு போதும் சுழி (zero) அளவுக்குக் குறைவதில்லை. ஆனால் ஒரு குறைந்த அளவினை (minimum value) அடைகிறது. இது தற்சிறப்பு வரி நிறமாலை (characteristic line spectra) ஒன்று, தொடர் நிறமாலை (continuons spectra) ஒன்றின்மேல் இயைபுற ஒன்றியிருப்பதைக் குறிப்பிடுகிறது.

III. எக்ஸ்-கதிர்களின் திசைவிலக்கம் (Refraction of X–Rays):

ராண்ஜன் காலத்திலிருந்தே எக்ஸ்-கதிர்களின் முறிவுக்கான ஆதாரங்களைப் பெரும் நோக்கத்தோடு பல ஆராய்ச்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. ஆனால் ப்ராக்கின் விதி கண்டுபிடிக்கப்பட்டு, 1913ஆம் ஆண்டில் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவி உருவாக்கப் படுகின்ற வரையில் எவ்வித திருப்தியான முடிவும் கிடைக்க வில்லை. ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளங் கொண்ட கற்றைக்கு, வெவ் வேறு வரிசைகளுக்குக் கிடைக்கும் செய்முறைக் குறிப்புகளுக்கு, $n\lambda = 2 \sin \theta$ என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் பெருகின்ற அலை நீளங்களின் (λ-ன்) மதிப்புச் சமமாக இல்லை என்பதை 1919ஆம் ஆண்டில்தான் ஸ்டென்ஸ்ட்ராம் (Stenstrom) என்பவர் எடுத்துக் காட்டினார். எக்ஸ்-கதிர்கள் படிகத்தினுள் நுழையும் போதும், வெளிவரும் போதும் ஏற்படும் முறிவுதான் (refraction) இக் குறை பாட்டிற்கான காரணம் என அவர் கூறினார். இக் கூற்று ஜால்மார் (Hjalmar), டானே (Duane), செபான் (Siegbahn) மற்றும் பலரின் கண்டு பிடிப்புகளால் உறுதியாயிற்று.

ப்ராக்கின் சமன்பாட்டில் ஒரு திருத்தம்:

இம் முறிவின் விளைவாக ப்ராக்கின் விதியில் மாற்றம் செய்ய வேண்டியுள்ளது. λ அலை நீளம் உள்ள எக்ஸ்-கதிர்கள் படுகின்ற படிகத்தின் மேல் படலப் பரப்பில் (வெற்றிடத்தில்), θ என்பது சாய்கோணம் எனக் கொள்வோம். (படம் 133) கதிர் படிகத்தினுள் நுழையும்போது முறிவு ஏற்படுவதால், உட்படலங்களில் அமையும் படுகோணங்களின் அளவு மேல் படலப் பரப்பில் அமைந்த படு கோணத்தின் அளவாகவே இருக்காது. மேல் படலத்திற்கு அடுத்ததாக உள்ள படலத்தில் சாய்கோணத்தின் அளவு θ ஆக இல்லாமல் θ^1 ஆக இருக்கும். அப் படலத்தில் ஏற்படுகின்ற பிரதிபலிப்புக்கு ப்ராக்கின் விதிப்படி,



படம் 133. எக்ஸ்-கதிர்களின் முறிவு

$$n\lambda' = 2d \sin \theta' \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

ஆகும். இங்கு λ' படிகத்தினுள் கதிரின் அலை நீளத்தைக் குறிக்கிறது. செய்முறைகளைக் கொண்டு ப்ராக்கின் விதியிலிருந்து மாறுபடும் அளவினைக் கணக்கிட்ட போது அம் மாற்றங்கள் θ' என்பது θ-ஐ விடச் சிறியது எனக் காட்டுகின்றன. இதிலிருந்து கதிர் படிகத்தில் ஊடுருவிச் செல்லும் போது குத்துக் கோட்டிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது என்றாகிறது. ஒளியியலின் பொது விதிகளின்படி,

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta'} < 1 \quad \ldots \quad (2)$$

ஏனெனில் r என்பது i-ஐ விடப் பெரிதாகவும் θ மற்றும் θ' என்னும் கோணங்கள் முறையே i மற்றும் r என்னும் கோணங்களோடு சேர்ந்து செங்கோணமாக்கும் கோணங்கள் (complementary angles) ஆகும்.

இவ்வாறு எக்ஸ்-கதிர்களுக்கான முறிவு எண்ணுகிய μ ஒன்றை விடச் சிறியதாக இருக்கிறது. ஆனல் செய் முறைகள் μ-ன் மதிப்பு ஒன்று என்னும் மதிப்பிலிருந்து குறிப்பிடத்தக்க அளவு வேறுபடுவதில்லை எனக் காட்டுகின்றன.

சமன்பாடு (2) ஐ பயன்படுத்தி சமன்பாடு (1)-ஐ கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{n\lambda}{\mu} = 2d\ (1-\cos^2\theta')^{\frac{1}{2}}$$

$$n\lambda = \frac{2d\mu}{\mu}\ (\mu^2-\cos^2\theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\ \{\mu^2-(1-\sin^2\theta)\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left\{1-\frac{1-\mu^2}{\sin^2\theta}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

μ என்பது சற்று ஏறத்தாழ ஒன்றுக்குச் சமம் ஆதலால் $(1+\mu)=2$ ஆகும்.

எனவே,

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left\{1-\frac{1-\mu}{\sin^2\theta}\right\}$$

$1 - \mu = \delta$ எனக் கொண்டு,

$$n\lambda = 2d \sin\theta \left\{ 1 - \frac{\delta}{\sin^2\theta} \right\}$$

என எழுதலாம். இது திசை விலக்க நிகழ்ச்சியின் அடிப்படையில் திருத்தப்பட்ட ப்ராக்கின் சமன்பாடு எனப்படும். இங்கு θ என்பது செய்முறை மூலம் நேரடியாகப் பெறுகின்ற சாய்கோணத்தின் அளவாகும்.

திருத்தப்படாத ப்ராக்கின் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\sin^2\theta = \frac{n^2\lambda^2}{4d^2} \text{ என்றாகிறது.}$$

$$\therefore \quad n\lambda = 2d \sin\theta \left\{ 1 - \frac{4d^2 \delta}{n^2\lambda^2} \right\}$$

குறிப்பிட்ட ஒரு அலை நீளத்திற்கு (λ-ன் மதிப்பிற்கு) n அதிகமாக அதிகமாகக் கதிருத்தப்பகுதியாக அமைந்த $\frac{4d^2 \delta}{n^2 \lambda^2}$ என்பது குறைந்து கொண்டே போகும் என்பதை இது காட்டுகிறது. எனவே ப்ராக்கின் திருத்தப்படாத சமன்பாடு n-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும்போது பொருந்தி வருவதாக இருக்கிறது. ஒரு பருப் பொருளுக்கு எக்ஸ்-கதிர்களுக்கான விலகல் எண் (refractive index) ஒன்றைவிட சிறியதாக இருப்பதால், ஒரு பொருளின் பரப்பில் படுகின்ற எக்ஸ்-கதிர்கள், அடர்த்தி அதிகமான ஊடகம் ஒன்றிலிருந்து, அடர்த்தி குறைவான ஊடகத்திற்குச் செல்லும் ஒளியைப் போல் இருக்கிறது என்பது கூருமலே விளங்கும். எனவே குறிப்பிட்ட அளவினைக் கடக்கும்போது எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பூரண அகப்பிரதிபலனம் (total internal reflection) ஏற்படுத்தக்கூடிய மாறுதானக்கோணம் (critical angle) என்ற ஒன்று இருத்தல் வேண்டும். θ_c என்பது மாறுதான சாய்க்கோணம் என்றால்,

$$\mu = \sin i_c = \cos \theta_c \text{ ஏனெனில்,}$$

θ_c என்பது i_c என்னும் கோணத்துடன் சேர்ந்து செங்கோணமாக்கும் கோணமாகும்.

$$\therefore \quad \mu = 1 - 2\sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$= 1 - \frac{\theta_c^2}{2}$$ ஏனெனில் θ_c என்பது மிக மிகச் சிறிய கோணமாகும்.

எனவே, $\theta_c = \{2(1-\mu)\}^{\frac{1}{2}}$

$$= \sqrt{2\delta}$$

இத்தகைய ஒரு விளைவு 1922-ல் காம்டன் (Compton) என்பவரால் காணப்பட்டது. மாறுதான சாய்கோணத்தின் (crital glancing angle) மதிப்பு, ஒரு வில்லின் சில (கோண) நிமிடங்களாக இருப்பது அறியப்பட்டது. இம்மாறுதான மதிப்புக்குக் கீழே படுகற்றையின் பெரும் பகுதி பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இச் சிறு கோண எல்லைக்குள், ஒளியியலில் காணப்படுவது போன்ற குறுக்கீடு நிகழ்ச்சியை (inter feredce phenomena) எக்ஸ்-கதிர்கள் விளைவித்தல் வேண்டும் கோடிட்ட கிராதியால் (rulee grating) சாதாரண படுகோணங்களுக்கு எக்ஸ்-கதிர்களில் விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்க இயலாது. ஆனல் பூரண அகப்பிரதிபலிப்புக்கான மாறுதானக் கோண அளவுக்குள், தழுவிப்படு நிலையில் (grazing incidence) விளிம்பில் விலகல் நிறமாலை (diffraction spectrum) உண்டாக்குகிறது.

IV. எக்ஸ்-கதிர்கள் முனைவு கொள்ளல் (Polarisation of X-Rays) :

ஈதரில் ஏற்படுகின்ற குறுக்கு அதிர்வுகளை (transverse vibrations) ஒளி என்ற தொன்மைக் கருத்தின் உண்மையிலிருந்து அல்லது ஒளி செல்லும் திசைக்குக் குத்தாக மின் ஏவரை (electric vectorn) உள்ளது என்னும் அண்மைக் காலத்திய மின் காந்த அலைக் கொள்கையின் (electro magnetic theory) உண்மையிலிருந்து எழுந்ததே முனைவு கொள்ளல் (polarisation) என்ற நிகழ்ச்சி ஆகும். எக்ஸ்-கதிர்களை முனைப்படுத்துவதில் ராண்ட்ஜன் தோல்விகண்ட காரணத்தால், ஈதரில் ஏற்படும் நெடுக்கு அதிர்வுகளே (longitudinal vibrations) எக்ஸ்-கதிர்கள் என்னும் முடிவினைக் கொஞ்ச காலம் ஒப்புக் கொண்டிருக்க வேண்டியதாயிற்று. ஆனல் 1906ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் பேராசிரியர் பர்க்லா (Prof. Barkla) என்பார் ஒளியைப் போலவே எக்ஸ்-கதிர்களையும் முனைப்படுத்தல் கூடும் என்றும் எனவே அவை குறுக்கு அலைகளே ஆகும் என்பதைத் தெளிவுபடுத்தினர்.

V. எக்ஸ்-கதிர் சிதறல் (X-Ray Scattering) :

சாதாரண ஒளியின் சிதறலில் காணப்படுகின்ற பல தற்சிறப்புப் பண்புகள் (characterl stics) எக்ஸ்-கதிர் சிதறலிலும் காணப்படு

கின்றன என செய்முறை ஆய்வுகள் தெளிவாகக் காட்டியுள்ளன. சாதாரண ஒளியில் ஏற்படுவது போலவே இருவகைச் சிதறல்கள் எக்ஸ்-கதிர்களிலும் ஏற்படுகின்றன.

(1) அவை ஓரினச் சிதறல் (coherent scattering) அதாவது அலைநீளத்தில் மாற்றம் ஏற்படுத்தாது திசையை மட்டும் மாற்றுகின்ற சிதறல். இத்தகைய சிதறலை முதுபழம் மின் காந்தக் கொள்கைக் (electro magnetic theory) கொண்டு நன்கு விளக்குதல் இயலும். படிகக் கிராதிகளைக் கொண்டு விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்கும் நிகழ்ச்சியில் இத்தகைய சிதறல் பங்கு பெற்றுள்ளது.

(2) ஓரினமற்ற சிதறல் (incoherent scattering) இவ் வகைச் சிதறலில் திசை மாற்றங்களுடன் அலைநீள மாற்றங்களும் ஏற்படுகின்றன. இது காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect) எனப்படும். இது சாதாரண ஒளியில் நிகழும் இராமன் விளைவினை (Raman effect) ஒத்ததாகும். நாம் பின்னர் காணப் போவது போன்று இவ் விருவிளைவுகளையும், கதிர் வீச்சில் நுண்ணிமப் பண்புகளைக் கொண்ட ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் (quantum theory) அடிப்படையில்தான் முழுமையாக விளக்குதல் முடியும்.

எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளம் கண்டறிதல்

(Determination of the wavelength of X-Rays)

எக்ஸ்-கதிர்களின் பிரதிபலிப்பு, முறிவு, முனை கொள்ளல் மற்றும் சிதறல் இவை குறித்துச் செய்த ஆராய்ச்சிகள், எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும் சாதாரண ஒளிக்குமிடையே நிலையான பாலம் ஒன்றினை ஏற்படுத்தின. எக்ஸ்-கதிர்கள் அலை இயல்பு கொண்டனவாயின் அவை அலைநீளம் என்னும் ஒரு அளவினால் தற்சிறப்புற வேண்டும். அவ்வலை நீளத்தைச் செய்முறைகள் மூலம் அளத்தல் இயலவேண்டும். இச் செயல், படிக எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியின் மூலம் திட்பமான வகையில் செய்யப்பட்டுள்ளது.

கொள்கை :

$n\lambda = 2d \sin\theta$ என்னும் ப்ராக்கின் சமன்பாட்டில் குறிப்பிட்ட ஒரு வரிசைக்கு (order) உரிய θ என்னும் சாய்கோணத்தின் அளவினையும், பயன்படுத்தப்படும் படிகத்தின் ஏதாவது ஒரு தளத்திற்குக் கிராதி இடைத் தூரமாகிய d-ன் மதிப்பினையும் அளவிட்டு அறிந்தால் λ-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியைக் கொண்டு θ-ஐ அளக்கும் முறையினை முன்பே பார்த்தோம். d-ன் மதிப்பு பின்வரு

மாறு பெறப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக இந்துப்பு படிகம் (nacl ஒன்றை ப்ராக்கின் நிறமாலை அளவியில் பயன்படுத்துவதாக வைத்துக் கொள்வோம். படிக இயல் ஆய்வுகளிலிருந்து (crystallo-graphic studies) இந்துப்பு மிகமிக எளிதான கனசதுர அமைப்பினைச் (cubic system) சேர்ந்தது என்று தெரிகிறது. இவ் வமைப்பில் இப் படிகத்தின் தற்சிறப்புக் கன சதுரப் பின்னல் அமைப்பில் (characteristic cubic lattice) உள்ள. அடிப்படைக் கன சதுரங்களின் (elementary cubes) மூலைகளில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றாய் உள்ள இடங்களில் சோடியம் அயனிகளும், குளோரின் அயனிகளும் இருக்கின்றன. (படிக அமைப்புக் கீழே கூறப்பட்டிருக் கிறது)

d என்பது அடிப்படைக் கன சதுரம் ஒவ்வொன்றின் பக்க அளவினைக் குறிப்பதால் அக்கன சதுரத்தின் கன அளவு d^3 ஆகும். ஒவ்வொரு கன சதுரத்தின் பொருண்மையும் ρd^3 ஆகும். இங்கு ρ என்பது படிகத்தின் அடர்த்தியாகும். M என்பது சோடியம் குளோரைடின் (nacl) மூலக்கூறு எடை என்றும் N என்பது அவொ காட்ரோவின் எண் (Avogadro's number) என்றும் கொள்வோம். இதில் $2N$ அயனிகள் அல்லது விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்கும் மையங்கள் (diffracting centres) இருக்கும். அதாவது ஒரு கிராம் மூலக் கூறில் (gram molecule) N சோடியம் அயனிகளும், N குளோரின் அயனிகளும் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு அயனிக்கும் உள்ள பொருண்மை $\frac{M}{2N}$ ஆகும். ஒவ்வொரு அடிப்படை கன சதுரத்திலும் Na அல்லது Cl அயனிகளில் ஒன்றே ஒன்று மட்டும் இருப்பதால்,

$$\frac{M}{2N} = \rho d^3$$

$$d = \left(\frac{M}{2N\rho} \right)^{\frac{1}{3}}$$

M, N மற்றும் ρ இவைகளின் மதிப்புகளை அறிந்து d-ன் மதிப் பினைக் கணக்கிடலாம்.

சோடியம் குளோரைடுக்கு (nacl)

$$M = 23 + 35{\cdot}5 = 58{\cdot}5$$

$$N = 6{\cdot}06 \times 10^{23}$$

$$\rho = 2{\cdot}17$$

ஆகவே, $d = \left[\frac{58 \cdot 5}{2 \times 6 \cdot 06 \times 10^{23} \times 2 \cdot 17} \right]^{\frac{1}{3}}$

$= 2 \cdot 81 \times 10^{-8}$ செ.மீ.

சோடியம் குளோரைடு படிகத்தைப் பயன்படுத்தி செய்முறை மூலம் முதல் வரிசைக்குக் ($n = 1$) கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சாய் கோணத்தின் அளவு $11 \cdot 8^{\circ}$ என்ருல் பயன்படுத்தப்பட்ட எக்ஸ்-கதிரின் அலை நீளம் பின்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது.

$$\lambda = 2 \times 2 \cdot 81 \times 10^{-8} \times \sin 11 \cdot 8^{\circ}$$
$$= 2 \times 2 \cdot 81 \times 10^{-8} \times 0 \cdot 204$$
$$= 1 \cdot 51 \times 10^{-8}$$
$$= 1 \cdot 51 . A^{\circ}$$

λ-ன் மதிப்பினைத் திட்டமாகக் கணக்கிடுவதில் பின்வரும் முக்கியமான சில திருத்தங்கள் செய்ய வேண்டும்.

(a) வெப்பத்தினுல் படிகங்களினுல் படிகங்கள் விரிவடைவதால், வெப்ப நிலைக் கேற்ப d-ன் மதிப்பு மாறும் வழக்கமாக d-ன் மதிப்புகள் 18° செ-ல்தான் கொடுக்கப்படுகின்றன. அது தவிர்த்த மற்ற வெப்ப நிலையில் செய்முறை நடைபெற்ருல் திருத்தம் செய்தாக வேண்டும்.

(b) முதலில் உள்ள சில வரிசைகளை (order) மட்டும் செய்முறைக்குப் பயன்படுத்தினுல், எக்ஸ்-கதிர்களின் முறிவுக்கான திருத்தமும் செய்தல் வேண்டும்.

செய்முறை :

முன்னரே விளக்கப்பட்டுள்ள, அயனியாக்க அறையுடன் கூடிய, ப்ராக்கின் நிறமாலை அளவி, எக்ஸ்-கதிரின் அலைநீளம் பற்றிய நம்பகமான மதிப்புகளைத் தந்தது. வட்டமேசையின் கோண அளவி (scale) கொண்டு அளக்கும் வரை இது நேரடியான ஒரு எளிய முறையாக இருக்கிறது. இதில் அளப்பதற்கு நீள அளவைகள் ஏதும் இல்லை. மிகத் திட்பமாகச் சரிசெய்ய வேண்டிய தேவையுமில்லை. ஆனுல் இதன் பயனுக்கு வரம்பிடுவதாய் பின்வருவன அமைகின்றன.

(i) குறைந்த பிரிதிறன் (Resolving power) :

இதன் வேறுபடுத்திக் காட்டுந்திறனை அதிகரிக்க வேண்டுமானுல், பிளவுகளை மிகக் குறுகியதாக்க வேண்டும். அவ்வாறு

செய்தால் எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையின் செறிவு மிகக் குறைந்து போய் அளவிடுவது கடினமாகிவிடுகிறது.

(ii) ஒருவிதமான சலிப்பூட்டும் முறை :

எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வளைகோடு (spectrum curve) வரைவதற்கு டஜன் கணக்கில்-ஏன் நூற்றுக் கணக்கில் மின்காட்டி குறிப்புகள் எடுத்தாக வேண்டியிருக்கிறது.

எனவே எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியின் அமைப்பிலும், செயல்படும் முறையிலும் மாரிஸ்-டி-ப்ராய் (Maurice de Broglie), செபான் (Siegbahn) போன்றோரும் இன்னும் பலரும் சில மாற்றங்களும் முன்னேற்றங்களும் செய்தனர். செயல்படும் முறையில் அமைந்த முக்கிய மாறுதல்களாவன : (a) ஒரு வில் விசை அமைப்பு (clock work mechanism) படிகத்தை ஒரு சிறு கோண எல்லைக்குள் அங்கும் இங்கும் அசையச் செய்தது. (b) அயனியாக்க அறையின் இடத்தில் ஒளிப்படத்தகடு ஒன்று வைக்கப்பட்டது.

பிரதிபலிக்கும் தளத்தில் அமைந்த ஒரு அச்சினை மையமாகக் கொண்டு படிகம் அங்கும் இங்கும் அசைக்கப்படுவதால், ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளங் கொண்ட எக்ஸ்-கதிரைப் பிரதிபலிப்பதற்கேற்ற கோணத்தைப் படிகம் கடந்து செல்கையில் கதிர் பிரதிபலிக்கப்பட்டு, ஒளிப்படத்தகட்டில் ஒரு சுவட்டினை (trace) உண்டாக்குகிறது. படிகத்தைச் சாய் கோண எல்லையில் அசைக்க, சுவட்டின் பதிவுச் செறிவுள்ள (intensity) தாகிறது. இது படிகத்தில் உள்ள தொல்லை தரும் சிறு ஒழுங்கற்ற தன்மையையும் நீக்கி விடுகிறது.

தேவையான குறிப்புகளைப் பெறுவதற்குச் செய்ய வேண்டிய சலிப்படையச் செய்யும் நீண்ட உழைப்பு, கதிர்களின் செறிவுக்கும் காணும் மின்னோட்டத்திற்குமிடையில் உள்ள எளிய தொடர்பினைக் காண்பதில் உள்ள இடர்ப்பாடுகள் போன்ற அயனியாக்க அறை முறையில் உள்ள பல குறைகளைக் காணும்போது அதற்குப் பதிலாக ஒளிப்படத் தகட்டைப் பயன்படுத்தியது சாலச் சிறந்ததே ஆகும். மேலும் ஓய்வாக ஆய்வதற்குரிய, நிலைத்த ஒரு பதிவினைப் (a permanent record) பெறவும் வழி ஏற்படுகிறது. ஒளிப்படத்தகடு சாதாரண ஒளியால் பாதிக்கப்படாமல் இருக்கும் பொருட்டு இரு முறை கருப்புக் காகிதத்தால் சுற்றப்பட்டுப் படிமங்கள் இரசாயனப் பூச்சில் (emulsion) விழுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒளிப்படத்தகட்டில் இரசாயனப் பூச்சுள்ள

பக்கத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறு கால்ஷியம் டங்ஸ்டேட் (calcium tungstate) ஆல் அமைந்த ஒரு ஒளிர் திரையை (fluorescent screen) வைத்து ஒளிப்படத்தகட்டில் நல்ல விளைவுகள் உண்டாக்கக் கூடும். இதனுல், பல மணி கணக்கில் ஆகும் பதிவு நேரம் ஓரளவு குறையும். ஒளிப்படத்தகட்டிற்கும் படிகம் சுழலும் அச்சிற்கும் இடையே உள்ள தூரம் ஒளிப்படத்தகட்டில் நேராக விழும் கற்றையின் இடத்திலிருந்து சுவடுகள் அமைந்துள்ள இடம், சாய் கோணமாகிய θ-ன் மதிப்புகள் இவைகளை அறிந்து, ஒளிப்படத்தகட்டைக் கழுவிய பின்னர் கிடைக்கும் சுவடுகளைக் கொண்டு, அச் சுவடுகள் ஒவ்வொன்றிற்கும் உரிய அலைநீளங்களை எளிதில் கணக்கிடலாம்.

எக்ஸ்-கதிர்களின் நடைமுறைப் பயன்கள்
(Practical Applications of X-Rays)

எக்ஸ்-கதிர்களின் பல்வேறுபட்ட பயன்களைப் பின் வருமாறு வகைப்படுத்திக் கூறலாம்.

(1) படிகங்கள், உலோகங்கள், மற்றும் அணுக்கள் போன்றவற்றின் உள், அமைப்புகளைப் பற்றிய ஆய்வுகள் போன்ற அறிவியல் துறைப் பயன்கள்.

(2) கதிர்வீச்சு உலோக இயல் (radio metallo graphy) என்னும் பொதுப் பெயரால் குறிப்பிடப்படும் தொழில்துறைப் பயன்கள்.

(3) கதிரியக்க வரைப் படங்களின் மூலம் நோயின் மூலத்தை அறிதல் (ரேடியோகிராஃபி) கதிரியக்கச் சிகிச்சையால் குணப்படுத்துதல் (எக்ஸ்-ரே-தெரப்பி) என்னும் இருவகைப்பட்ட மருத்துவத்துறைப் பயன்கள்.

இத்தகு பயன்களின் தனிச் சிறப்புகளைப்பற்றி ஒரு சிறிது கூறுவோம்.

1. **அறிவியல் துறைப் பயன்கள் : எக்ஸ்-கதிர்களைக் கொண்டு படிகங்களை ஆய்தல்** (X-Ray Analysis of crystals) :

எக்ஸ்-கதிர்களைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு முன்பாகவே படிக அமைப்பினைப்பற்றிய கொள்கை (theory of crystal structure) உருவாக்கப்பட்டுவிட்டது. ஆனுல் எக்ஸ்-கதிர்களைக் கொண்டு தான் படிகங்களின் உள்ளமைப்பினை உள்ளது உள்ளவாறு கண்டுணர முடிந்தது.

படிக அமைப்பினைப்பற்றிய பழங்கொள்கை படிகங்களில் காணப்படுகின்ற, பின்வரும் வினோதமான பண்புகளின் அடிப் படையில் அமைந்ததாகும்.

(*a*) படிகத்தின் புறசமச் சீரமைவு (external symmetry) அதாவது ஒரு படிகத்திற்கு எடுத்துக் காட்டாய் அமையும் பக்கத்தின் (typical face) கோண அமைப்புகள் ஒவ்வொரு சிறு பகுதியிலும் சிறிதும் மாருமல் காணப்படுகின்றன.

(*b*) பிளவு நிகழ்ச்சி (phenomenon of cleavage) அதாவது ஒரு படிகத்தை விசை அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தினுல் நன்கு வரையறுக்கப்பட்ட குறிப்பிட்ட முறையில் பிளவுபடுகிறது.

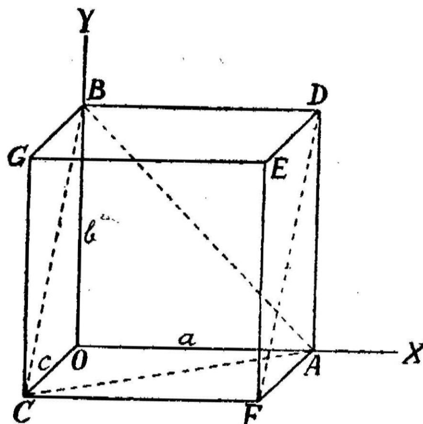
(*c*) திசையொவ்வாப் பண்பும் (anisotropic) ஆனுல் ஒரு படித்தான தற்சிறப்பு உடைமை (homogeneous characteristics) அதாவது படிகத்தின் உள் நிகழும் வெப்ப விரிவு, மின்கடத்தல், ஒளியின் வேகம் போன்ற திசை வழிப்பண்புகள் திசையைப் பொறுத்து வெவ்வேறு திசைகளில் வேறு வேருக இருப்பினும் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலுள்ள எல்லா இடங்களிலும் அவை ஒன்று போலவே இருக்கின்றன.

படிகங்கள் ஏழுவகையான முக்கிய அமைப்புகளாகப் பிரிக்கப் பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு வகைப் படிகமும் சில குறைந்த அளவு சரிசீர் அமைவு கொண்ட அடிப்படைக் கூறுகளால் (symmetry elements) சித்தரிக்கப்படுகின்றன. இக் கூறுகள் படிகங்களின் வடிவ அமைப்பிலிருந்து பெறப்பட்டுச் சில குறிப்பிட்ட தற்சிறப்பு களுடைய அச்சுக்களை வைத்துச் சுட்டப்படும் (referable) தன்மை யன. படிக வகைகளை டிரைகிளினிக் (triclinic), மானேகிளினிக் (monoclinic) ஆர்தோராம்பிக் (orthorhombic), டிரைகோனல் (trigonal), டெட்ராகோனல் (tetragonel) ஹெக்ஸாகோனல் (hexagonal) மற்றும் கியூபிக் (cubic) என்பனவாகும். படிகங்களின் வகைகள் பற்றிய ஆய்வில், வெவ்வேறு படிகங்களின் எடுத்துக் காட்டான பக்கங்களின் (typical faces) ஒப்பு அளவுகளோ அல்லது உண்மை, உருவங்களோ முக்கியம் அன்று. வெவ்வேறு பக்கங் களின் மாரு இயல்புடைய, கோணதிசை அமைப்புகளே (angular orientations) முக்கியமாகும். படிகத்தின் உள்ளே ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டு, அப் புள்ளியிலிருந்து படிகத்தின் பக்கங் களுக்குக் குத்துக்கோடுகள் வரைதல் வேண்டும். இவ்வாறு ஒரு புள்ளியிலிருந்து நாலா திசைகளிலும் செல்லும் குத்துக்கோடுகளின் அமைப்பை வைத்து, கோண திசை அமைப்புகளை எளிதில் குறிப் பிடலாம். ஒரே தளத்தில் அமையாத மூன்று பக்கங்கள் ஒன்றை

ஒன்று வெட்டிக் கொள்வதால் ஏற்படும் வெட்டுக் கோடுகளுக்கு இணையாக வரையப்படும் படிகவியல் அச்சுக்கள் (crystallo graphic axes) எனப் பெயருடைய மூன்று அச்சுக்களையும் வெட்டக்கூடிய நான்காவது தளம் மூலதளம் (standard plane) எனப்படும். ஒரு படிகத்தின் பல்வேறு பக்கங்களையும், மில்லர் குறியீட்டெண் (miller indices) என்னும் ஒருவகை குறியீட்டால் எளிதில் குறிப்பிடலாம். ஒரு தளத்தின் இந்த அடையாள எண்கள் இத் தளம் ஆயங்களை வெட்டுவதால் உண்டாகும் ஆயத் துண்டுகளுக்கு (intercepts) எதிர்விகிதத்தில் அமைவன ஆகும். இவ்வாறு $(1,0,0)$., $(1,1,0)$ மற்றும் $(1,1,1)$ இவை மூன்று வெவ்வேறு தளங்களைக் குறிக் கின்றன. இவற்றில் இறுதியில் கொடுக்கப்படுவது எப்போதும் மூலதளத்தையே குறிப்பதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. அடையாள எண் O என்றால் அது குறிக்கின்ற தளம் ஏதோ ஒரு ஆயத்திற்கு இணையாக இருக்கின்றது. எனவே அதற்குரிய ஆய வெட்டுத் துண்டம் (intercept) வரம்பிலி (infinite) ஆக அதன் தலைமாற்றுப் பின்னம் (reciprocal) சுழி ஆகிறது. இதைத்தான் அடையாள எண் என்கிறோம். இந்த அடையாள எண்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட தளத்தை மட்டுமே குறிப்பன அல்ல. அவை இத் தளத்தோடு இணையாக அமைந்த பல தளங்களையும் குறிக்கின்றன. மேலும் இந்த எண்களின் விகிதங்கள்தான் நமக்கு முக்கியம்—எண்கள் அல்ல—எடுத்துக்காட்டாக $(4,2,2)$ என்பதால் குறிக்கப்படும் தளங்களும், $(2,1,1)$ என்பதால் குறிக்கப்படும் தளங்களும் ஒன்றே.

படிக தளங்கள் பற்றிய எளிதில் விளங்காத இக் கருத்துகளை விளக்க மிக எளிய கனசதுர அமைப்பாகிய ‘க்யூபிக்’ அமைப்பினை எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் மூன்று ஆயங்களும் கன சதுரத்தின் ஓரங்களுக்கு இணையாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே அவை ஒன்றுக்கொன்று செங்கோணத்தில் அமைந் துள்ளன. அவை OX, OY மற்றும் OZ என்பன. (படம் 134) மூலைவிட்ட தளமாகிய (diagonal plane) ABC-க்கு இணையான எந்த தளமும் $(1,1,1)$ தளம் எனப்படுகிறது. ஏனெனில் அதனால் வெட்டப்பட்ட ஆய வெட்டுத் துண்டங்களின் விகிதம் $1 : 1 : 1$ என்று இருக்கிறது. $ADEF$ என்னும் பக்க தளம் Y மற்றும் Z ஆயங் களுக்கு இணையாக இருப்பதால் இத் தளம் ஆயங்களை வெட்டுவ தால் உண்டாகும் துண்டங்கள் வரம்பிலி (infinite) ஆக இருப்ப தால், அவைகளுக்குரிய மில்லர் அடையாள எண் 0, 0 ஆகும். ஆகவே $ADEF$ என்னும் பக்க தளத்திற்கு இணையாய் அமையும் எந்த தளமும் $(1,0,0)$ தளம் எனப்படும். மற்றொரு மூலைவிட்ட தளமாகிய $BDFC$-க்கு இணையாக உள்ள எந்த ஒரு தளமும்

அது X ஆயத்திற்கு இணையாக இருத்தலின் (0, 1, 1) தளம் என்றே அழைக்கப்படும்.



படம் 134. படிக தளங்களுக்கு, மில்லர் எண் கொண்டு பெயரிடல்

படிகங்களின் புறச் சீரமைவுப் பண்புகள் (external symmetry characteristics) படிகங்களில் அகச் சீரமைவு (internal symmetry) இருப்பதைக் குறிப்பிட்டன. படிகங்களை உருவாக்கும் அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் அல்லது மூலக்கூறு தொகுதிகள் (groaps of molecules) இவை கண்டபடி அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாக அமையாது, படிகத்தில் பங்கு பெறுகின்ற ஒவ்வொரு உறுப்பும் படிக உள் வெளியில் குறிப்பிட்ட ஓர் இடத்தில், சூழ இருக்கின்ற மற்ற உறுப்புகளிலிருந்து குறிப்பிட்ட தூரத்தில், குறிப்பிட்ட கோண அமைப்பில், மிக்க ஒழுங்குடனும், வரையறையோடும், முப்பரிமாண அளவில் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த அகச் சீரமைப்புதான் படிக நிலையின் (crystalline state) இன்றியமையாப் பண்பாகும்—உருவின் புறச் சீரமைப்பு இன்றியமையாப் பண்பு அல்ல. எனினும் புறச் சீரமைவு அகச்சீரமைவின் விளைவே ஆகும். உள் அமைப்பின் தன்மை பற்றிய முதற் குறிப்பினைத் தருவது புறச் சீரமைப்பே ஆகும்.

சில குறைந்த எண்ணிக்கை உடைய அணுக்கள் சேர்ந்து படிகம் முழுதுக்குமான பிரதியாக அமைகின்ற உருவங் கொள்ளுமாறு அமைந்திருப்பதுதான் படிகத்தின் உள்ளமைப்பாகும். இத்தகைய அடிப்படை உருவ அமைப்பு (elementary pattern) அலகு மாடம் (unit cell) அல்லது பின்னல் அலகு (lattice unit) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக $NaCl$ அல்லது KCl இவை போன்ற

கன சதுர அமைப்புடைய படிகங்களைப் பார்ப்போம். படிகம் எவ்வளவு சிறியதாக இருப்பினும் பின்னல் அலகு ஒரு கன சதுர மாகவே இருக்கும். முப்பரிமாண இடத்தில் இத்தகைய அலகுகள் மீண்டும் மீண்டும் சேர்ந்து படிகத்தை உருவாக்குகின்றன. இதன் விளைவாகப் படிகத்தின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள், ஒரே அளவான தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்டு ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒவ் வொரு அலகு மாடத்தைக் குறிக்கும் வகையில் அமைந்த முப்பரி மாண புள்ளி வலைகளைப் (three dimensional point nets) அணிக் கோவை வெளி (space lattice) என்கிறோம். ஒரு பின்னல் வெளியில் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளையும் ஒரே இடைவெளிவிட்டு இணையாய் அமைந்த தளத் தொகுதிக்குள் (sets of planes) அமைத்துவிடலாம். அத்தகைய தளங்களுக்கு அணிக்கோவைத் தளங்கள் (lattice planes) என்று பெயர். இத்தகைய தளங்களின் தொகுதியைப் பல வழிகளில் தேர்ந்தெடுத்தல் கூடும். அத் தொகுதியின் தளங்கள் ஒவ்வொன்றும் நிறைய புள்ளிகள் கொண் டிருப்பின் தளங்களின் இடைத் தூரம் அதிகமாகவும், குறைவானப் புள்ளிகளைக் கொண்டிருப்பின் தளங்கள் ஒன்றுக் கொன்று அண்மையிலும் இருக்கும். முதலில் கூறிய தளம் பின்னல் வெளியில் உள்ள மாட அலகுகளின் கூட்டத்திற்கு இயல்பான எல்லையாக அமைகிறது.—அதாவது படிகத்தின் பக்கமாகிறது. இரண்டாவதாகக் கூறிய தளம் உண்மையில் உள்ள தளம் அன்று. ஒரு சதுர செ.மீட்டரில் அதிக அளவு அணிக்கோவைப் புள்ளி களைக் (lattice points) கொண்ட தளங்களுக்கு மட்டுமே அடை யாள எண் விதி (law of indices) மிகவும் பொருந்துகிறது. 1880ஆம் ஆண்டிலேயே பிரேவைஸ் என்பார் பின்னல் வெளி படிகத்தின் உள்ளமைப்பினைப் புலப்படுத்தும் என்னும் கருத்தினைக் கூறினர். சமச்சீரமைவின் (symmetry) அடைப்படையில் 14 விதமான பின்னல் வெளிகள் உள்ளன என்றும் அவைகளில் ஒரு ட்ரைகிளினிக், இரு மானோகிளினிக், நான்கு ஆர்தோராம்பிக், இரு டெட்ரோ கோணல், இரு ஹெக்ஸாகோணல், மற்றும் மூன்று க்யூபிக் வகையைச் சார்ந்தவை என்றும் கணக்கிட்டார்.

படிகங்களின் புற வடிவியல் சீரமைவுகளைக் (geometric symmetry) கொண்டு அவை 32 பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டன. இப் பிரிவுகள் ஒவ்வொன்றும் சமச்சீரமைவு மையங்கள், ஆயங்கள், மற்றும் தளங்கள் இவைகளின் சாத்தியமான வடிவியல் உரு அமைப்பு (geometric configuration) ஒன்றைக் குறிக்கின்றன. இப் புறச்சீர் அமைவு உறுப்புகளை (external symmetry elements) புறப் பின்னல் வெளி அமைப்புடன் (external space lattice structure) சேர்க்க 230 வெளித் தொகுதிகள் (space groups) கிடைக்கக்

கூடும் என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இத் தொகுதிகள் சிக்கலான படிக அமைப்பினை விளக்குகின்றன. எனவே வெளித் தொகுதிகள் பற்றிய அறிவு படிகங்களின் ஆய்வுக்குக் குறிப்பாகச் சிக்கல் மிகுந்த படிகங்களின் ஆய்வுக்கு இன்றியமையாத ஒன்றாகும்.

எக்ஸ்-கதிர் படிகவியல் (X-Ray Crystallography):

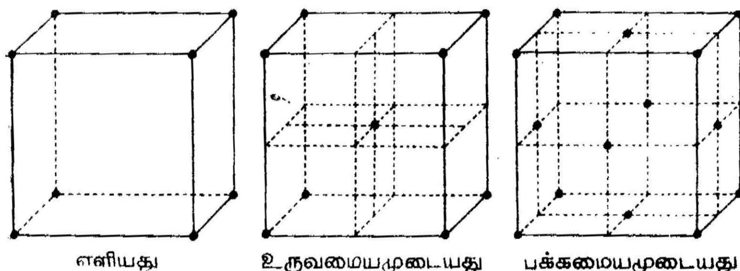
எக்ஸ்-கதிர்களைக் கொண்டு படிகங்களை ஆய்வதென்பது படிக வெளி வடிவமைப்பு (space pattern) உண்மையில் இருப்பதைச் செய் முறைகளின் மூலம் எடுத்துக்காட்டுவதும், மற்றும் அலகு மாடத்தின் (unit cell) அளவையும், அமைப்பையும் அளந்து அதன் மூலம் படிகத்தின் அமைப்பினைக் காணலும் ஆகும்.

இதற்கு ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியை நன்கு பயன்படுத்தலாம். எக்ஸ்-கதிர்களைப் பிரதிபலிக்கும் முகப்பு (face) முதலில் படிகத்தின் தொகுதித் தளங்கள் ஒன்றுக்கு இணையாக இருக்குமாறும், பின்னர் இன்னொரு தொகுதித் தளங்களுக்கு இணையாக இருக்குமாறும் இவ்வாறே வெவ்வேறு தொகுதிகளுக்கு இணையாக இருக்குமாறும் செதுக்கப்படுகிறது. தெரிந்த λ என்னும் அலைநீளமுடைய ஒரு நிற எக்ஸ்-கதிர் கற்றையைப் (mono cromatic x-ray) பயன்படுத்தி, ஒரு குறிப்பிட்ட வரிசைக்கு (order) ($n = 1$ என்க) சாய் கோணமாகிய (θ)-வைக் கணக்கிடுவதற்குத் தேவையான குறிப்புகள் எடுக்கப்படுகின்றன. ப்ராக்கின் விதியான $n\lambda = 2d \sin\theta$ என்பதைப் பயன்படுத்தி, கிராதி இடைவெளியாகிய d-ன் மதிப்புகள் கண்டு பிடிக்கப்படுகின்றன. இம் மதிப்புகள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு குறிப்பிட்ட தளத்தை வைத்து எடுக்கப்பட்டன. அவைகளில் ஏதாவது ஒன்றை ஒன்று (one) எனக் கொண்டு இம் மதிப்புகளின் விகிதத்தைக் கணக்கிட்டால் அவை படிகத்தில் அணுக்கள் அமைந்திருக்கும் வகைக்கேற்ப அமைந்திருப்பது தெரிகிறது. இம் முறையில் ஆயப்பட்ட KCl மற்றும் $NaCl$ படிகங்களில் ஒன்றை எடுத்துக்கொண்டு இம் முறையை விளக்குவோம்.

Nacl மற்றும் Kcl படிகங்களின் அமைப்பு:

இவ்விரு படிகங்களும் கனசதுர (cubic) வகையைச் சார்ந்தவை. க்யூபிக் வகைப் படிகங்களில் மூன்று கிளை வகைகள் (sub-types) உள்ளன. அவை சில குறிப்பிட்ட தளங்களில் அணுச் செறிவை (concentration of atoms) அதன் காரணமாக வெவ்வேறு தள இடைவெளியையும் (spacing of planes) பெற்றிருக்கின்றன. அவையாவன: (1) எளிய க்யூப் (simple cube) இதில் கன

சதுரத்தின் ஒவ்வொரு மூலையிலும் ஒவ்வொரு அணு இருக்கிறது. (2) உருவ மையங் கொண்ட க்யூப் (body centred cube) இதில் கனசதுரத்தின் மையத்தில் அதிகப் படியாக ஒரு அணு இருக்கிறது. (3) பக்க மையங்கொண்ட க்யூப் (face-centred cube) இதன் ஆறு பக்கங்களிலும் அவற்றின் மையங்களில் கூடுதலாக



படம். 135. (க்யூபிக் படிகத்தின் மூன்று வகைகள்

ஒரு அணு இருக்கிறது (படம் 135) இம் மூன்று வகைகளிலும் அதிக அணுக்கள் கொண்ட தளங்களின்—அவை $(1, 0, 0)$., $(1, 1, 0)$ மற்றும் $(1, 1, 1)$—d என்னும் இடைவெளித் தூரத்தின் மதிப்பு எளிய முறைகளில் கணக்கிடப்படுகிறது. அவை பின் வரும் விகிதங்களில் இருக்கின்றன.

		$d_{1,0,0}$	:	$d_{1,1,0}$	:	$d_{1,1,1}$
எளிய க்யூப்	...	1	:	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	:	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
உருவமையங் கொண்ட க்யூப்	...	1	:	$\frac{2}{\sqrt{2}}$	:	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
பக்க மையங் கொண்ட க்யூப்	...	1	:	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	:	$\frac{2}{\sqrt{3}}$

ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியில் Kcl படிகத்தின் $(1, 0, 0)$., $(1, 1, 0)$ மற்றும் $(1, 1, 1)$ ஆகிய மூன்று தளங்களையும் ஒன்றன்பின் ஒன்ருகப் பயன்படுத்தி ஒரு நிற எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையை (monochromatic X-Ray beam) பிரதிபலிக்கச் செய்து முதல் வரிசைக்குரிய சாய்கோணங்கள் θ_1, θ_2 மற்றும் θ_3 இவை அளக்கப்படுகின்றன. ப்ராக்கின் விதிப்படி,

$$\lambda = 2d_{1,0,0} \sin\theta_1 = 2d_{1,1,0} \sin\theta_2 = 2d_{1,1,1} \sin\theta_3$$

$$\therefore \quad d_{1\cdot 0\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 1} = \frac{1}{\sin\theta_1} : \frac{1}{\sin\theta_2} : \frac{1}{\sin\theta_3}$$

θ_1, θ_2 மற்றும் θ_3 இவைகளுக்கு செய்முறை மூலம் பெறப்பட்ட மதிப்பு முறையே $5 \cdot 22^\circ$, 7.3° மற்றும் $9 \cdot 05^\circ$ ஆகும். இதிலிருந்து.

$$d_{1\cdot 0\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 1} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$$

என்பது கிடைக்கிறது.

எனவே KCl எளிய க்யூப் வகையைச் சேர்ந்தது போல் காணப்படுகிறது. ஆனால் மேற்கூறிய குறிப்புகளிலிருந்து பின்னலின் மூலைகளில் உள்ள துணைக்கூறுகளின் தன்மைபற்றிய— அதாவது அவை KCl மூலக் கூறுகளா அல்லது K அயனியும் Cl அயனியும் ஒன்று விட்டொன்று அமைந்திருக்கின்றனவா என்னும் விபரங்கள் கிடைக்கவில்லை. $NaCl$ பற்றிய ஆய்வுகளின் மூலம் கிடைத்த குறிப்புகள் இச் சிக்கலைத் தீர்க்கின்றன.

NaCl படிகம் :

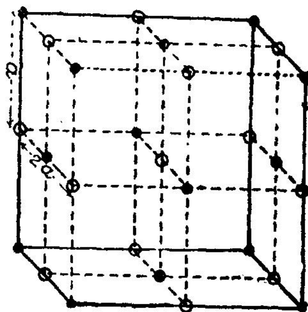
இப் படிகத்தைக் கொண்டு செய்த ஆய்வில் 5° கோணத்தில் $(1, 1, 1)$ தளத்தில் உண்டான மங்கலான பிரதிபலிப்பை விட்டு விட்டால், அம் மூன்று தளங்களுக்குக் கிடைத்த முடிவுகள் முன்பு கிடைத்த முடிவுகளை ஒத்திருக்கின்றன. ஆனால் மங்கலான அப் பிரதிபலிப்பையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டால்,

$$d_{1\cdot 0\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 0} : d_{1\cdot 1\cdot 1} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\sqrt{3}}$$

என்பதை நாம் பெறுகிறோம். இதிலிருந்து பொதுவாக க்யூபிக் வகையைச் சார்ந்தது என்றாலும் இது பக்க மையங்கொண்ட 'க்யூப்' ஆகும்.

KCl மற்றும் $NaCl$ ஆகிய படிகங்களிடையே உள்ள வேறுபாடுகளைப் பின்வருமாறு விளக்குதல் இயலும். அருகே உள்ள படம் (படம் 136) KCl படிகத்தையோ அல்லது $NaCl$ படிகத்தையோ குறிப்பதாகக் கொள்வோம். கருப்புப் புள்ளிகள் Cl அயனிகளையும் வட்டங்கள் K அல்லது Na அயனிகளையும் குறிக்கின்றன. இருவகை அயனிகளும் (அதாவது K மற்றும் Cl அல்லது Na மற்றும் Cl) மாறிமாறி ஒன்றோடொன்று பிணைந்த பக்க மையங் கொண்ட 'க்யூப்' ஆக அமைந்திருப்பது தெரிகிறது.

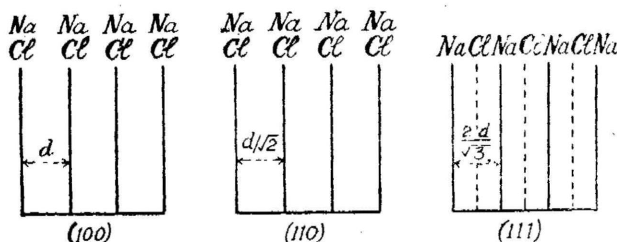
KCl படிகத்தில் அணு எண் 19 (K) மற்றும் 17 (Cl) கொண்ட அணுக்கள் இருக்கின்றன. இவை சேரும்போது ஒவ்வொன்றிலும் மொத்தத்தில் 18 எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. எனவே, இவை இரண்டும் ஒரே அளவில் சிதறச் செய்கின்றன. எனவே, சிதறல் நிகழ்ச்சியைக் கொண்டு இவைகளைப் பிரித்தறிய முடியாது. ஆகவே சிதறச் செய்யும் மையங்களின் அமைப்பு 'a' என்னும் பக்க அளவினை உடைய ஒரு சிறு கன சதுர அமைப்புப் போலவே செயல்படுகிறது.



படம் 136.

$NaCl$ படிகத்தில் அதிக வேற்றுமை கொண்ட அணு எண்கள் 11 (Na) மற்றும் 17 (Cl) ஆகியவை இருக்கின்றன. இவை சேரும்போது முறையே, 10 மற்றும் 18 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. படத்திலிருந்து (1, 0, 0) மற்றும் (1, 1, 0) என்னும் தளங்கள் சம எண்ணிக்கை உடைய Na மற்றும் Cl அணுக்களைப் பெற்று ஒரே அமைப்புக் கொண்டனவாக இருக்கின்றன என்பதையும், ஆனல் (1, 1, 1) என்னும் தளம் முழுவதும் Na அயனிகளையோ அல்லது Cl அயனிகளையோதான் பெற்றிருக்கிறது என்பதைக் காணலாம். (1, 1, 1) என்னும் இத் தளத்தில் எக்ஸ்-கதிர்களைப் பிரதிபலிக்கச் செய்தால் Cl அயனிகள் பக்க மையங் கொண்ட $2a$ பக்கமுள்ள க்யூப் ஆக செயல்படும். Na அயனிகள் (Cl அயனிகளுக்கிடையே) பாதி தூரத்தில் அமைந்திருக்கின்றன. எனவே Na அயனிகளில் ஏற்படும் பிரதிபலிப்பினை விட்டுவிட்டு மற்றப் பிரதிபலிப்பினைக் கணக்கெடுத்துப் பார்த்தால் இது பக்க மையங் கொண்ட க்யூப் ஆக அமையும். எனினும் குளோரின் தளங்களுக்கிடையே சோடியம் தளங்கள் இருக்கின்றன. அவைகளும் கற்றையைப் பிரதிபலிக்கின்றன. Cl தளங்களில் முதல் வரிசை பிரதிபலிப்புக்கு ஏற்ற நிலைகள் இருக்கையில், அதற்கு அடுத்த தளத்தில் (அதாவது அடுத்துள்ள Na மற்றும் Cl தளத்தில்) ஏற்படுகின்ற பிரதிபலிப்புக்குரிய பாதை வேறுபாடு (path difference) ஒன்றை ஒன்று அழிக்கின்ற குறுக்கீடாக அமைகிறது. இவ்விரு தளங்களிலிருந்தும் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றைகளின் செறிவு சமமாக இருப்பின் விளைவுச் செறிவு (resulting intensity) சுழி ஆகும். ஆனல் ஒரு அணுவுக்கு 18 எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட Cl தளங்கள், அணுவுக்குப் 10 எலெக்ட்ரான்களைக்

கொண்ட Na தளங்களைவிட மிக அதிகமாகப் பிரதிபலிக்கப்பட்ட செறிவுகளின் வித்தியாசத்திற்குச் சமமான அளவுடைய விளைவுச் செறிவு ஏற்பட அதனால் (மற்ற வரியுடன் ஒப்பிட) மங்கலான ஒரு வரி முதல் வரிசையிலேயே தெரிகிறது. இரண்டாம் வரிசைக்கு, ப்ராக்கின் விதியில் பதிலீடு செய்து கண்டபடி வலிவூட்டம் (reinforcement) ஏற்படுகிறது. மேலும் n-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கையில் (1, 1, 1) தளத்தில் ஏற்படும் பிரதிபலிப்புகள் மாறி மாறி மங்கலாகவும், தெளிவாகவும் அமைகின்றன. இது செய்முறையிலும் காணப்



படம் 137.

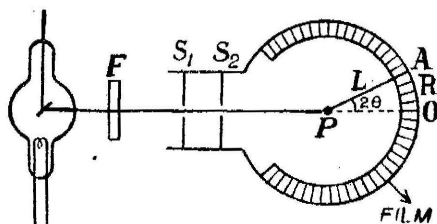
பட்டது. கண்டறிந்த முடிவுகளைப் படம் 137-ல் காட்டியுள்ளது போன்று குறிப்பிடலாம். $NaCl$-ல் காணப்பட்ட செறிவுகள் பற்றிய இவ் விளக்கம் $NaCl$ மற்றும் KCl இவை இரண்டிலுமே படம் 136-ல் காட்டியுள்ளதுபோன்று, பின்னல் மூலைகளில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றாக K மற்றும் Cl அல்லது Na மற்றும் Cl அயனிகள் — மூலக் கூறுகள் அல்ல – அமையப் பெற்ற ஒரே வகை அமைப்பினைக் கொண்டன என்று காட்டுகிறது.

பொடிக்கப்பட்ட படிக முறை (Powdered Crystal method):

ஜெர்மனியில் டிபை (Debye) மற்றும் ஷெரர் (Scherrer) ஆகியோரும் அதே காலத்தில் (1916) அமெரிக்காவில் ஹல் (Hull) என்பாரும், பொடிக்கப்பட்ட படிக முறை என்னும் ஒரு புது உத்தியை (technique) உருவாக்கினர். இம்முறை படிகங்களின் அமைப்பைக் காண்பதில்—குறிப்பாகச் சிறு சிறு துண்டுகளாகக் கிடைக்கின்ற படிகங்களுக்கும் மற்றும் தூளாகக் கிடைப்பவைகளுக்கும் — மிகவும் பயனுள்ளதாய் விளங்கியது. இம் முறையின் முக்கியமான கோட்பாட்டினை (principle) பின்வருமாறு கூறலாம். ஒரு பொருளின் சிறு பகுதியை நன்கு பொடி செய்து அதன் மேல் ஒரு நிற எக்ஸ்-கதிர்களை விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. நுண்ணியப் படிகச் சிறு துகள்கள் முற்றிலும் வேறுபட்ட கோணதிசை அமைப்புகளில் அங்கொன்றுமாக இருக்க, சில துகள்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட

பின்னல் தளத்தில் படுகற்றைக்குப் பொருத்தமான சாய் கோணத்தில் அமைய பிரதிபலிப்பு ஏற்படுகிறது. வேறு சில துகள்கள் பிரதிபலிப்புக்கு ஏற்ற வேறொரு தள தொகுதியில் அமைந்து, பிரதிபலிப்புக்கு ஏற்றவையாக இருக்கின்றன. இவ்வாறே பல தொகுதிகள் அமைகின்றன. மேலும் பல தள தொகுதிகளிலிருந்து பிரதிபலிப்பு ஏற்படுவதோடு மட்டுமல்லாமல் பல வரிசைகளிலும் பிரதிபலிப்பு ஏற்படுகிறது. எல்லாத் திசை அமைப்புகளும் (orientations) சம அளவில் இருப்பதாகக் கொண்டால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கற்றை படுகற்றையின் திசையில் அச்சினை உடைய ஒரு கூம்பு (cone) ஆக உருக் கொள்கின்றன. இக் கூம்பின் அரை உச்சிக் கோணம் (semi vertical angle), சாய் கோணத்தைப்போல இரு மடங்காக இருக்கும். ஒவ்வொரு தள தொகுதிக்கும், அவைகளின் ஒவ்வொரு வரிசைக்கும் உரிய விளிம்பில் விலக்கப்பட்ட கதிர்களின் கூம்புகள் உண்டாகும். படுகற்றைக்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள ஒளிப்படத்தகட்டில் தொடர்ந்த, பல ஒருமைய ஒளி வட்டங்களை (concentric halos) உண்டாக்குகின்றன. இவ் வட்டங்களின் ஆரங்களைக் கொண்டு சாய் கோணங்களையும், அவற்றிலிருந்து தள இடைத் தூரங்களையும் (spacing of planes) பெறலாம்.

படம் 138-ல் செய்முறை அமைப்பு விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. F என்னும் தகுந்த வடிகட்டியால் எக்ஸ்-கதிர்கள் ஒரு நிறத் தன்மை அடையுமாறு செய்யப்படுகின்றன. S_1 மற்றும் S_2 என்ற பிளவுகளால் தக்கவாறு ஒரு வரிப்படுத்தப்படுகின்றன. இக் கதிர்கள், பொடிக்கப்பட்டு, பசை கொண்டு ஒரு மயிரிழையில்



படம் 138.

ஒட்டப்பட்டு, உருளை வடிவ ஒளிப்படப் பெட்டியின் (cylindrical camera) அச்சில் அமையுமாறு தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும் P என்னும் பொருளின் மேல் விழுகின்றன. ஒளிப்படக் கருவியின் உட்புறத்தில், ஏறக்குறைய வட்டப் பகுதியின் முழுப் பரப்பிலும் 180° வரை விளிம்பில் விலகல் அடையும் கதிர்களை ஏற்பதற்குரிய

வாறு படச் சுருள் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. வழக்கமாகப் படச் சுருள் குறைந்த அகலமுடையதாகவும், அதிக நீளங்கொண்டதாகவும் இருக்கும். எனவே படத்தைக் கழுவிய பின்பு பார்த்தால் படத்தில் வட்ட விற்களே (arcs) காணப்படுகின்றன. நேராகச் செல்லும் கற்றையின் சிதறலால் ஒளிப்படத்தில் ஏற்படும் மூட்டத்தைக் (fogging) குறைக்கும் பொருட்டுப் பொடிகளின் மேல் விழுந்த எக்ஸ்-கதிர்கள் பின்னர் படச் சுருளில் உள்ள ஒரு துளை வழியே வெளியேறுமாறு செய்யப்படுகின்றன.

படச் சுருளில் பெற்ற சுவடுகள் (traces) படம் **139**-ல் காட்டியுள்ளவாறு இருக்கின்றன. விளிம்பில் விலகு கோணம் (angle of diffraction) 90°-ஐ தாண்டும் போது சுவடுகளின் வளைவு மாறுகின்றது. விளிம்பில் விலகு கோணம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க



படம் 139.

வளைவு ஆரம் அதிகங் கொண்ட விற்கள் (arcs) தோன்றுகின்றன. கோணம் 90°-ஐ அடையும்போது நேர்க்கோடுகள் கிடைக்கின்றன. அதற்குமேல் வளைவுகளின் குறி (sign) மாறுகிறது. இச் சுவடுகளின் அளமப்பு மற்றும் ஒப்புச் செறிவு இவைகளைக் கொண்டு படிகத்தின் அமைப்பினை (structure) அறியலாம். நேர்க் கற்றை (direct beam) படச் சுருளில் விழும் O என்னும் இடத்திலிருந்து R தூரத்தில் உள்ள A என்னும் இடத்தில் உள்ள நிறமாலையின் சாய்கோணம் θ என்றும் உருளை வடிவ ஒளிப்படக் கருவியின் ஆரம் L என்றும் கொண்டால் $\theta = \dfrac{R}{2L}$ ஆகும். இவ்வாறு θ-ன் மதிப்பினைப் பெறலாம். தளங்களின் இடைவெளியைப் ப்ராக்கின் விதியைக் கொண்டு எளிதில் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$2d \sin\theta = n\lambda$ என்பதைப் பகுநிலை காணின் (differentiating)

$$\triangle d \sin\theta + d\cos\theta \; \triangle\theta = 0 \text{ ஆகும்.}$$

ஏனெனில் λ மற்றும் n இவை மாறிலிகளாகும்.

$$\therefore \frac{\triangle\theta}{\triangle d} = -\frac{\tan\theta}{d}$$

θ என்னும் கோணம் 90°-ஐ நெருங்கும்போது $\dfrac{\triangle\theta}{\triangle d}$ மிகமிக அதிகமாகிறது. எனவே d-ல் ஏற்படும் சிறிய வேறுபாடுகள் θ-வில் பெருமளவு வேறுபாட்டினை உண்டாக்குகிறது. இதிலிருந்து

கதிர்கள் ஏறக்குறைய 180°-ல் பிரதிபலிக்கப்படும்போது அதிக வேறுபடுத்திக் காட்டுந் திறன் ஏற்படுவது தெரிகிறது. இதன் காரணமாகத்தான் படிகத் தூளைச் சுற்றியுள்ள உருளை வடிவப் படச் சுருளில் செங்கோணத்தைவிட அதிகமான அரை உச்சிக் கோணமுடைய நிறமாலை கிடைக்கிறது.

உலோகங்கள் மற்றும் உலோகக் கலவைகள் போன்ற பொருள் களின் படிக அமைப்பினை அறிவதைப் பொறுத்தவரை பொடிக்கப் பட்ட படிகமுறை (powdered crystal method) ஒரு வரப்பிரசாதமே ஆகும். மேற்கூறிய பொருட்கள் ஒருபோதும் பெரிய படிகங்களை உண்டாக்குவதில்லை. ஆதலால் இம் முறையில் தவிர வேறு முறையில் அவற்றின் படிக அமைப்பினைக் காண்பது எளிதல்ல.

எக்ஸ்-கதிர் படிக அமைப்பு ஆய்வுகளின் விளைவுகள் :

எல்லா அமைப்புகளையும் கண்டுபிடித்து விட வேண்டும் என்னும் முயற்சியில் குறிப்பிடத்தக்க முன்னேற்றங்கண்டிருந் தாலும் இதுவரை ஓரளவு எளிய அமைப்பு கொண்டவை மட்டுமே ஆராயப்பட்டிருக்கின்றன. என்றாலுங்கூட எக்ஸ்-கதிர் படிக ஆய்வுகள் பாராட்டத் தக்கனவே ஆகும். இதுவரை செய்த ஆய்வுகளில் பின்வரும் விளைபயன்கள் ஏற்பட்டுள்ளன.

(a) சில படிகங்களுக்கு மட்டுமே உரியதெனக் கூறப்பட்ட ஒழுங்கான அமைப்பு முறை, எல்லா திண்பொருள்களுக்கும் (solids) உரிய ஒரு பண்பு என்பது உறுதியாயிற்று.

திண்பொருள் நிலையில் உள்ள பொருள்களின் கட்டமைப்பு பற்றிய அறிவே படிக அமைப்பு பற்றிய அறிவு என்றாயிற்று. இது அறிவியல் முக்கியத்துவமுடைய ஒன்றாகும்.

(b) **உலோகங்களின் படிக அமைப்பு :**

உலோகங்களும் உலோகக் கலவைகளும் படிக அமைப்பு கொண்டன என்பது எக்ஸ்-கதிர் ஆய்வுகளால் தெளிவாக்கப் பட்டுள்ளது. அனேகமாக எல்லா உலோகங்களும், க்யூபிக், ஹெக்ஸாகோனல் மற்றும் டெட்ராகோனல் படிக வகைகளைச் சார்ந்ததெனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

(c) **அணுவின் உள்ளமைப்பு (Internal Structure) :**

அணுவின் உள்ளேயும் பார்க்கக்கூடிய அற்புத சக்தி உடைய ஒரு நுண் பொருள் காட்டியை (microsocpe) எக்ஸ்-கதிர்கள் நமக் களிக்கின்றன. எக்ஸ்-கதிர்களின் ஒளிமின் விளைவு (photo electric

effect) ஆய்வுகளின் மூலமாக அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் பங்கீட்டை (distribution) அறிதல் கூடும்.

II. தொழில் துறைப் பயன்கள் :

எக்ஸ்-கதிர்கள் தொழிலியலில் பல துறைகளில் பயன்படுகின்றன. ஒரு சில எடுத்துக்காட்டுகள் இங்கு தரப்பட்டுள்ளன.

(a) உலோகத் தகடுகள், இயந்திரப் பகுதிகள் (machine parts) அல்லது அதிக அழுத்தம் தாங்குவதற்கான குழாய்கள் இவைகளில் உள்ள குறைகள், மரம், ஆணி, பீங்கான் மற்றும் காப்புச் சாதனங்கள் (insulations) போன்றவற்றின் உள்ளிருக்கும் கீறல் (cracks), வைரம் போன்ற விலையுயர்ந்த கற்களில் உள்ள குறைகளைக் கண்டு பிடிக்கவும், படமெடுக்கவும் உதவுகின்றன.

(b) உலோகக் கலவை வார்ப்பின் படி அமைப்பினைக் கண்டுபிடித்து, ஒரு சிறு துண்டின் கலவை விகிதம், மற்றும் வெப்ப விளைவு பொறியியற் சோதனை இவைகளைக் கவனித்து உலோகக் கலவையையும் அதிலுள்ள உலோகங்களையும் ஆராயவும் விகிதங்களைக் கட்டுப்படுத்தவும் பயன்படுகின்றன. இவ்வகையில் கொபால்ட்-நிக்கல் எஃகுகள், வெண்கலம், டுராலுமினியம் (duraluminium) செயற்கை முத்துக்கள் பழைய வண்ண ஓவியங்கள் போன்றவை ஆராயப்பட்டன.

(c) செல்லுலூஸ், ரப்பர், நார்கள் (fibres) பிளாஸ்டிக் போன்றவைகளின் உள்ளே இருக்கும் மூலக்கூறு தொகுதிகளைப் (molecular groupings) பற்றிய விபரங்களைத் தக்கவாறு மேற்கூறிய பொருள்கள் எக்ஸ்-கதிரில் விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்குகின்றன.

III. மருத்துவத் துறைப் பயன்கள் :

மனிதனின் நல்வாழ்வுக்கு வழி வகுக்கும் மருத்துவத் துறையில் பயன்படுவது எக்ஸ்-கதிர்களின் முக்கியமான முதன்மையான நடைமுறைப் பயனாகும். ராண்ட்ஜனால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மூன்றே மாதங்களுக்குப் பின்னால் வியன்னாவில் உள்ள ஒரு மருத்துவமனையில் ஒரு அறுவை சிகிச்சையில் எக்ஸ்-கதிர்கள் பயன்படுத்தப்பட்டன. அதன் பின்னர் மருத்துவத் துறையின் சில பிரிவுகளில் இது பெரும் புரட்சி ஏற்படுத்திற்று. தற்காலத்தில் எக்ஸ்-கதிர்கள் நோயை அறியவும், குணமாக்கவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(a) கதிரியக்க வரைவு முறை (Radiography)

சதைப் பகுதிகளில் உள்ளதைப் போன்ற இலேசான தனிமங்களைப் (H_2, C, N, O_2) போலன்றி எலும்புப் பகுதியில் பாஸ்பரஸ் கால்ஷியம் போன்ற கனமான தனிமங்கள் இருப்பதால் எலும்பு, சதையைவிட புகவிடாத் தன்மை opaque) அதிக முடையதாக இருக்கிறது. எனவே எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்கும் தோற்று வாய்க்கும் (source) ஒளிர் திரை (fluorescent screen) ஒன்றுக்கும் இடையில் மனித உடல் வைக்கப்பட்டால், திரையில் விழுகின்ற எலும்புகளின் நிழல், சதைப் பகுதியின் நிழலைவிட அதிகச் செறிவு உள்ளதாக இருக்கிறது. இதுதான் கதிரியக்கக் காட்டியின் (radioscope) கோட்பாடாகும். இது வியாதியைக் கண்டறிவதிலும் விபத்துகள் காரணமாக உடம்பின் உட்பகுதியில் ஏற்படுகின்ற எலும்பு முறிவு, வெளிப் பொருள்கள் உள்ளே தங்கிவிடுதல் போன்ற விளைவுகளைக் கண்டறிந்து கொள்வதிலும் பெருந்துணை புரிந்துள்ளது. ஓய்வாக ஆய்வதற்குப் பாதிக்கப்பட்ட பகுதியின் கதிரியக்க வரை படங்கள் (radio graph) அல்லது எக்ஸ்-கதிர் படங்கள் எடுக்கப்படுகின்றன. மருத்துவத் துறையில் குடல் அல்லது சதைப் பகுதிகளில் உள்ள நோய்களை அறிய வேண்டிய தேவை ஏற்படுகின்ற நேரங்களில் பேரியம் சல்பேட் (barium sulphate) அல்லது பிஸ்மத் கார்பனேட் (bismuth carbonate) உணவு கொடுக்கப்படுகிறது. இவ்வுணவு உண்ட சில நேரத்திற்குப் பின்னர் பேரியம் சல்பேட் அல்லது பிஸ்மத் கார்பனேட் பொடிகள் குடற் பகுதியில் படிகிறது. இப்போது கதிர் வரைப்படம் (radio graph) எடுத்தால் குடற் பகுதி மற்ற பகுதியிலிருந்து வேறுபட்டுத் தெளிவாகத் தெரியும். ஏனெனில் பேரியம் பிஸ்மத் ஆகியவை அதிக அணு எண் கொண்டவை ஆதலால் அவைகளின் உட்கவர்தல் எண்ணும் அதிகமாக இருக்கிறது. இவ் வழியில் உடலின் உள்ளுறுப்புகளில் ஏற்படும் புண்கள், வெடிப்புகள் போன்றவற்றின் இடத்தைக் கண்டறியலாம். என்புருக்கி நோய் (T. B) சிறுநீர்க் காய்களிலும், பித்தப்பையிலும் ஏற்படுகின்ற கற்கள் (stones) இவைகளைக் கண்டு பிடிப்பதிலும் கதிர் வரைப் படங்கள் பெரும் பங்கு வகிக்கின்றன.

எக்ஸ்-கதிர் சிகிச்சை (X-Ray therapy)

உயிருள்ள தசை நார்களின் மேல் நீண்ட நேரத்திற்கு எக்ஸ்-கதிர்கள் பட்டால், தசைகள் அழிக்கப்படுகின்றன. தசை நார்களால் உட்கவரப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் ஒளி எலெக்ட்ரான்களை (photo electrons) உண்டாக்குகின்றன, அவ் வெலெக்ட்ரான்கள் அவைகளைச் சுற்றியிருக்கும் பொருள்களின் மூலக் கூறுகளுடன்

மோதி அவைகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களை வெளியேத் தள்ளி விடுகின்றன. இது மூலக் கூறுகளின் அமைப்பை மாற்றிவிட தசை நார்கள் அழிவுறுகின்றன. எனவே எக்ஸ்-கதிர்களை நோய்க்குக் காரணமான வேண்டாத தசை நார்களின் மீது செயல் படச் செய்தால் பாதிக்கப்பட்ட தசை நார்கள் அழிக்கப்பட்டு நோய் குணமாகும். இம் முறையில் வேண்டாத தசை நார் களோடு, வேண்டிய தசை நார்களும் சேர்ந்து அழிந்துவிடுகிறது. இது இம் முறையில் உள்ள ஒரு இடர்ப்பாடாகும். இவ்விடர்ப் பாட்டினைக் குறுக்கு சுடு முறை (crossfire method) எனப்படும் முறையினால் எளிதில் நீக்கிவிடலாம். இதில் பல தோற்றுவாய்களி லிருந்து கிடைக்கும் எக்ஸ்-கதிர்களை வேண்டாத தசை நாரின் மேல் கூடச் செய்கிறார்கள். ஒரே ஒரு தோற்றுவாயிலிருந்து கிடைக்கும் எக்ஸ்-கதிர் தேவையான பகுதி வழியாகச் செல்கிறது. எக்ஸ்-கதிர் சிகிச்சை சில தோல் வியாதிகளையும், சில வகை புற்று நோய்களையும் தீர்ப்பதில் நல்ல பயனைத் தந்துள்ளது. நோயைத் தீர்க்கும் விளைவுகளுடன் தீங்கிழைக்கும் விளைவுகளும் தொடர்ந்து ஏற்படுவதால் செறிவு மற்றும் தன்மை இவை இரண் டிலும் தகுந்த அளவுடைய எக்ஸ்-கதிர்களை இப் பணிக்குப் பயன் படுத்துதல் வேண்டும்.

வினாக்கள்

1. எக்ஸ்-கதிர்கள் எவ்வாறு உண்டாக்கப் படுகின்றன என்பதை விளக்குக. அவைகளின் பண்புகள் எவ்வாறு அறியப்படுகின்றன?

   (சென்னை பல்கலைக் கழகம் 1948)

2. எக்ஸ்-கதிர்கள் உண்டாக்குதல் அவைகளின் பண்புகள் மற்றும் பயன்கள் இவைகள் பற்றி கூறுக.

   (பஞ்சாப் 1953, பிகார் 1954, உட்கல் 1954)

3. நவின எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் அமைப்பு மற்றும் அதை இயக்கும் நிலை இவைகளை விவரி. எக்ஸ்-கதிர்களின் இயல்பு அவற்றின் பண்புகள் இவை பற்றி குறிப்பு வரைக.

   (சென்னை 1919)

4. எக்ஸ்-கதிர்கள் எவ்வாறு உண்டாக்கப்படுகின்றன. அவைகளின் முக்கியமான சில பண்புகளையும் அவைகளை விளக்கும் செயல் முறைகளையும் கூறு.

   (சென்னை 1950)

5. படிகத்தில் X கதிர்கள் விளிம்பில் விலகலுக்கான ப்ராக்கின் விதியினைத் தருவிக்க. (சென்னை 1950)

6. எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வரைவியினை விவரி. எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளத்தைக் கண்டுபிடிப்பதிலும் படிக அமைப்புகளை ஆய்வதிலும் அது எவ்வாறு பயன்படுகிறது என்று விளக்குக.
(பரோடா 1959, பஞ்சாப் 1952, 57, 60)

7. வெளி அணிக்கோவை என்பதை வரையறு. எக்ஸ்-கதிர்களைப் பயன்படுத்தி படிக அமைப்பு கண்டுபிடிக்கப்படும் முறையினை விளக்குக. (சென்னை 1951)

8. எக்ஸ்-கதிர்கள் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன ? தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் என்றால் என்ன ? அவைகளின் அலை நீளங்கள் எவ்வாறு கணக்கிடப்படுகின்றன ? அணுவின் அமைப்பு பற்றி அவை தருகின்ற விபரங்கள் யாவை ? (பஞ்சாப் 1949)

9. எக்ஸ்-கதிர்கள் உண்டாக்கும் முறையில் அமைந்த கொள்கையினைக் கூறி, நவீன எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய்களில் சிலவற்றை விவரி. எக்ஸ்-கதிர்களைவிட அதிக ஊடுருவும் திறன் கொண்ட கதிர்களின் பெயர்களைக் கூறு. (விடை γ கதிர்களும், காஸ்மிக் கதிர்களும் அதிக ஊடுருவும் திறன் கொண்டன.) (ஆக்ரா 1952)

10. எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்குவதற்கான கருவி ஒன்றை வரைந்து விளக்கு. அணுவின் அமைப்பு என்னும் நோக்கிலிருந்து நோக்கி எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளக் கண்டுபிடிப்பின் முக்கியத்துவத்தைக் கூறுக.
(சாகர் பல்கலைக் கழகம் 1950)

11. சிறுகுறிப்பு வரைக :

(a) எக்ஸ்-கதிர்கள். (லக்னோ 1952, 53, 54, ஆக்ரா 1948)

(b) மிருது எக்ஸ்-கதிர்கள் (சென்னை 1950)

(c) கூலிட்ஜ் குழாய் (சென்னை 1949, அலகாபாத் 1948, சாகர் 1944)

(d) எக்ஸ்-கதிர் சிதறல் (டெல்லி 1950)

5. புதுமைப் பௌதிகத்தின் அடிப்படைக் கருத்துகள்

(Fundamental Concepts of Modern Physics)

முன்னுரை :

முதுபழம் பௌதிகத்தின் நீண்ட நெடுங் காலத்திய கருத்துகளைத் தலைகீழாய் மாற்றிய புதுமைப் பௌதிகத்தின் அடிப்படைக் கருத்துகளான : (1) சார்புக் கொள்கை, (2) கதிர்வீச்சு பற்றிய ஆற்றல் குவான்டம் கொள்கை (quantum theory of radiation) மற்றும் (3) பொருட்களின் அலைப்பண்பு ஆகியவை இவைகளைப்பற்றி முன்னரே நாம் குறிப்பாக உணர்த்தியுள்ளோம். எடுத்துக்காட்டாக எலெக்ட்ரானின் பொருண்மை பற்றிக் கூறுமிடத்தில் சார்புக் கொள்கையின்படி அசையும் பொருள்களின் பொருண்மை அவைகளின் வேகத்தைப் பொறுத்து மாறுகின்றது எனக் குறிப்பிட்டோம். ஒளி மின் துகள் உமிழ்வு (photo electric emission) பற்றி விளக்கியபோது இந் நிகழ்ச்சியின் செய்முறைக் குறிப்புகளால் கண்ட தனிப் பண்புகளைத் தொன்மை மின்காந்தக் கொள்கை விளக்க இயலாமலிருப்பது பற்றிக் கூறி, ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையைக் கொண்டு தக்க



பேராசிரியர் ஐன்ஸ்டீன்

விளக்கம் தரமுடியும் என்பதையும் குறிப்பிட்டோம். எலெக்ட்ரான் நுண்ணோக்கிபற்றி (electron microscope) படித்தபோது இக் கருவி உருவாகவும், செயல்படவும் காரணமான அடிப்படைக் கோட்பாடுகளில் ஒன்ருய் அமைந்தது, 'எலெக்ட்ரான் போன்ற சிறு துகள்கள் அலைத்தன்மை கொண்டன' என்னும் கருத்தே என்றும் குறிப்பிட்டோம். இத்தகைய புதுமையான புரட்சிக் கருத்துகளைப் பற்றிய தெளிந்த அறிவின்றி அணுவினைப் பற்றிய ஆய்வுகளைத் தொடர்வது எளிதல்ல என்னும் நிலையை அடைந்து விட்டோம். இக் கொள்கைகள் ஒவ்வொன்றும் இரத்தினச் சுருக்கமான ஒரு தொடர்பாக உருப் பெற்றுள்ளன. அதாவது சார்புக் கொள்கையின் பொருண்மை-ஆற்றல் தொடர்பு, ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் வாயிலாக ஐன்ஸ்டீன் தந்த சமநிலைவிதி (law of equivalence), மற்றும் பொருள் அலைகளின் டி-ப்ராய் அலை நீளம் (de Broglie wave length of matter waves) என்பன ஆகும். இத் தொடர்புகள் புதுமைப் பௌதிகத்தில் தொடர்ந்து பயன் படுபவை ஆகும். இப் புதுக் கொள்கைகளின் இன்றியமையாத பண்புகளைப் பற்றிக் கூறுவதும், அவற்றின் சிறப்பினையும் இன்றி யமையாத் தன்மையினையும் நிலைநிறுத்தும் செய்முறை உண் மைகளை விளக்குவதும் இந்த அத்தியாயத்தின் நோக்கமாகும்.

I. சார்புக் கொள்கை (The theory of Relativity) :

லாரன்ஸ் இக் கொள்கைக்கு வழிவகுத்தார் எனக் கூறலாம். என்ருலும் இந் நூற்ருண்டின் தொடக்கத்தில் ஐன்ஸ்டீன் தான் சார்புக் கொள்கையை வரையறுத்து உருவாக்கினுர். பின்னர் மின்கோவ்ஸ்கி (Minkowski) என்பார் இக் கொள்கைக்குப் பயனுள்ள கணித அடிப்படையைத் தந்தார். விசையியல் (mechanics) வானியல் (astronomy) இவற்றில் உள்ள அடிப்படை அளவுகளான, நீளம், காலம் மற்றும் பொருண்மை இவை ஒன்றை ஒன்று சார்ந்து நிற்பன என்று இக் கொள்கை கூறுவதால் 'சார்பு' என்னும் சொல் ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கைக்கு அடைமொழியாக தரப்பட்டுள்ளது. அதாவது மேற்கூறிய அளவுகளில் எந்த ஒன்றையும் அந்த ஒன்றைக் கொண்டு மட்டுமே கணக்கிட இயலாது. மற்றவைகளையும் வைத்துத்தான் கணக்கிட இயலும். எனவே இப் புதுக் கொள்கை நீளம், காலம் பொருண்மை இவை சார்பற்ற தன்மையன (தனித்து நிற்பவை) என்னுங் கருத்துடைய தொன்மையான நியூடன் விசையியலை (newtonian mechanics) நேரடியாக மறுப்பதாக அமைகிறது.

பொருளின் துகள் ஒரு இடை நேரத்தில் நீளத்தில் இயங்கு வதே இயக்கம் எனப்படும். இயக்கம் பற்றிய கருத்தினை எண்ணிய

நியூடன் நீளம், பொருண்மை, மற்றும் காலம் இவை சார்பில்லாத் தன்மையன என்னும் முடிவுக்கு வந்தார். நீண்ட பொருள்களைக் கருத்தில் கொண்டு நீளம் என்பது உருவாகியது என்றாலும் அது சார்பற்றதாக இருக்க இயலும். அதாவது பொருளைப் பொருத்தது அல்ல. எனவே சார்பற்றது. அதன் தன்மையால் அது மாறாமலும் வெளிப் பொருள்களின் தொடர்பின்றி அசையாமலும் இருக்கிறது. சார்பற்ற வெளி (absolute space) பற்றிய கருத்தால் இரு பயனுள்ள வினாவுகள் ஏற்பட்டுள்ளன அவையாவன. ஒரு நிலையான குறிப்பு ஆயத்தை (frame of reference) வைத்து உலகில் உள்ள எந்த ஒரு பொருளின் இடத்தையும் அல்லது இயக்கத்தையும் தீர்மானிக்கலாம் என்பது ஒன்று. ஒரு பொருளின் வடிவ இயல் அமைப்புகள் (கன சதுரம், கோளம் போன்ற மற்ற அமைப்புகள்) இடம், பொருள் அல்லது ஆய்வாளரின் இயக்க நிலை இவைகளைப் பொறுத்து அமையாது மாறாமல் இருக்கும் தன்மை இரண்டாவது வினாவாகும். பொருள்கள் வெளியில் (space) அசையும் நிலையைக் கொண்டு கருத்தளவில் (abstration) அடைவதே நேரம் எனினும் அதைப் பொறுத்தவரை அதன் அளவு பொருளையோ அல்லது வெளியையோ சார்ந்திருக்கவில்லை. எனவே சார்பற்றது. 'வேறு பொருள்கள் எதையும் சாராது தானாகவே ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது.' எனவே நேரம் என்னும் ஒன்று ஒரே விகிதத்தில் ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது. இதன் வேகம் இயக்கத்தாலோ பொருள்கள் அல்லது நோக்குநர்களின் (observer) இடத்தைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. இதிலிருந்து இரு நிகழ்ச்சிகளுக்கு இடையே உள்ள காலம் எல்லா நோக்குநர்களுக்கும், அவர்களின் இடம், இயக்கம் இவை எவ்வாறு இருப்பினும் ஒரே அளவுடையதாக இருக்கும் என்பதைக் காட்டுகிறது. இரண்டாவதாக இரு நிகழ்ச்சிகள் ஒரு நோக்குநருக்கு ஒன்றாக நிகழ்வதாகத் தோன்றினால் அவை எல்லா நோக்குநர்களுக்கும்—அவர்களின் இடத்தையோ அல்லது



நியூட்டன்

இயக்கத்தையோ சாராது ஒன்றுகவே நிகழ்வதாகத் தோன்றும். இதை 'ஒன்ருக நிகழ்தல் சார்பற்றது' (simultaneity is absolute) என்று கூறலாம். பொருண்மை என்பது பொருளின் உள்ளார்ந்த பண்பாகும். 'விசை அது உண்டாக்கும் உந்தத்தின் (momentum) மாற்றத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்' என்னும் நியூட்டனின் இரண்டாவது விதி, ஒரு பொருளின் பொருண்மை சார்பற்றது, மாருதது பொருளின் அல்லது நோக்குநரின் இயக்கத்தைச் சாராது இருப்பது என்று குறிப்பிடுகிறது. வெளி, காலம், மற்றும் பொருண்மை இவை அவைகளின் இடம், இயக்கம், நோக்குநர் களின் இடம் மற்றும் இயக்கம், இவைகளைச் சாராமல் இருக்கின்றன என்னுங் கொள்கையை மறுப்பதன் மூலம் ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கை அம் மூன்றின் சார்பிலாத் தன்மையை தவறு என்று ஒதுக்கித் தள்ளுகிறது.

சார்புக் கொள்கையின் பிறப்பிடம் (Origin of the theory of relativity) :

சார்பற்ற வெளி, நேரம் மற்றும் பொருண்மை இவைபற்றிய முதுபழங் கருத்துகளில் இருந்து சார்பற்ற இயக்கம் (absolute motion) என்னுங் கருத்து உருவாயிற்று —அதாவது சார்பற்ற வெளியைக் குறிப்பு ஆயமாகக் கொண்ட இயக்கம். பொருட்களின் சார்பற்ற இயக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்கச் செய்த முயற்சிகள் தோல்வி கண்டதால் 'சார்பற்ற இயக்கம்' என்னும் சிக்கல் ஒரு நூற்றுண்டிற்குமேல் பௌதிகத் துறையில் உறுத்திக்கொண்டே இருக்கும் ஒரு கேள்வியாக அமைந்திருந்தது. இடம்மாறும் இயக்கம் (translatory motion) மற்றச் சடப்பொருள்களைச் சார்ந்த இயக்கமாக மட்டுமே உணர்தல்கூடும் என்பதால் நியூட்டன்கூட 'சார்பற்ற இயக்கம்' என்பது கண்டுபிடிக்கக் கூடியதல்ல என்னுங் கருத்திற்குத் தள்ளப்பட்டார். எனவேதான் அவர் தன்னுடைய முதல் இயக்க விதியில் அசையா நிலைக்கும் நேர்க்கோட்டில் சீராக இயங்கும் பொருளின் நிலைக்கும் வேறுபாடு காண்பதை விட்டு விட்டார். ஒரு அமைப்பின் சீரான இடம்மாறும் இயக்கம் அந்த அமைப்புக்குள்ளாகவே நிகழும் விசையியல் செய்முறைகளால் (mechanical experiments) கண்டுபிடிக்க இயலாத ஒன்ருகும். இதற்கு நியூட்டனின் சார்புக் கோட்பாடு (Newtonian Principle of relativity) என்று பெயர். இக் கோட்டினைப் பின்வருமாறு வேறு சொற்களாலும் கூறலாகும். ஒன்றுக்கொன்று சார்புடையதாக ஒரு நேர்க்கோட்டில் சீராக இயங்கும் எல்லா அமைப்புகளும் எல்லா விசையியல் விதிகளைப் பொறுத்தவரையிலும் சமமான வையே ஆகும். இதைச் சமநிலைக் கோட்பாடு (principle of equivalence) என்னலாம்.

ஒளியின் அலைப் பண்புக்கொள்கை ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டவுடன், நியூட்டன் அறியாத ஒரு புதுக்கூறு (new element) சார்பற்ற இயக்கம் பற்றிய பிரச்சினையில் பங்கு கொண்டது. ஒளி அலைப்பண்புடன் பரவிச் செல்வதற்கு, மாக்ஸ்வெல் கூறிய மின்காந்த அமைப்பாக இருந்தாலும் ஈதர் என்னும் எங்கும் சீராக அமைந்த, எல்லாப் பொருள்களிலும் ஊடுருவிச் செல்லும் ஒரு கற்பனை ஊடகம் தேவைப்படுகிறது. ஒளியும், வானிலுள்ள மற்றப் பொருள்களும் ஈதரில் தங்கு தடையின்றி இயங்குகின்றன என்று கொள்ளப்பட்டது. இத்தகைய ஊடகம் ஒன்றிருப்பதாக வைத்துக் கொண்டவுடன் இதுவரை தீர்க்கப்படாத 'சார்பற்ற இயக்க'ப் பிரச்சினைக்கு ஒளியியல் மற்றும் மின்காந்த முறைகளில் தீர்வு கண்டுவிடலாம் என விஞ்ஞானிகள் நம்பினர். பருப்பொருள்கள் ஈதரில் இயங்கும்போது ஈதர் என்ன ஆகிறது என்ற கேள்வியை அவர்களே எழுப்பி பின்வருமாறு விவாதித்தனர். வெளியில் இயங்கும் பொருள்கள் அவைகளோடு ஈதரையும் இழுத்துச் சென்றால் அவை இரண்டிற்குமிடையில் சார்பு வேகம் என்ற ஒன்று இருக்காது. ஈதரில் இயங்கும் பொருள்களைப் பொறுத்து ஒளியின் வேகத்தில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படாது. ஆகவே ஈதரைப் பொறுத்துப் பொருள்களின் சார்பற்ற இயக்கத்தை ஒளியியல் நிகழ்ச்சிகளைக் கொண்டு கண்டறிய இயலாது. அவ் வாறில்லாது பொருள்கள் இயங்குகையில் ஈதர் சற்றும் அசையாது இருக்கிறதென்று கொண்டால் இவை இரண்டிற்குமிடையே ஒரு சார்பு இயக்கம் ஏற்படும். எனவே சடப்பொருள்கள் ஈதரில் இயங்குவதால், அவைகளைச் சார்ந்து ஒளியின் வேகத்தில் மாறுதல் காணப்படும். ஆகவே ஒளியியல் நிகழ்ச்சிகளின் மூலம் சார்பற்ற இயக்கத்தைக் காண இயலும்.

இப் பிரச்சினைக்கு வெவ்வேறு விஞ்ஞானிகளிடமிருந்து வெவ்வேறு விதமான தீர்வுகள் கிடைத்தன. இயங்கும் பொருட்களுடன் ஈதரும் எடுத்துச் செல்லப்படுகின்றதென ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) என்பார் கூறினார். ஃப்ரனல் (Fresnel) மற்றும் ஃபிஷோ (Fizeau) இருவரும் இயங்கும் பொருட்களுடன் ஓரளவு ஈதர் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது என்றனர். ஆனால் லாரன்ஸ் (Lorentz) என்பார் அசையா ஈதர் கொள்கைக்கு (stationary ether hypothesis) ஆதரவளித்தார். இக் கொள்கை மற்ற இரு வகைக் கருத்துகளும் ஏற்ற இன்னல்கள் போலன்றி, கண்ணுற்ற பல உண்மைகளுக்கு விளக்கமளிப்பதாகத் தோன்றியது.

மைக்கேல்சன்-மாரிலி செய்முறை (Michelson Morley experiment):

அசையா ஈதர் கொள்கையைச் சோதிப்பதற்குச் செய்யப்பட்ட பல்வேறு முயற்சிகளில் முதன் முதலாக 1881-ல்

மைக்கேல்சன்-மார்லி இருவராலும் செய்யப்பட்டுப் பின்னர் வேறு பலரால் மறுமுறையும் செய்து பார்க்கப்பட்ட செய்முறை மிக்கப் புகழ் வாய்ந்த ஒன்றாகும். அம் முறையின் கோட்பாட்டினைப் பின் வருமாறு தொகுத்துரைக்கலாம். பூமி சூரியனைச் சுற்றி வரும் இயக்கத்தில் ஈதரின் ஊடே சென்றாக வேண்டும். ஈதர் அசையாது இருப்பின் ஈதருக்கும் பூமிக்கும் இடையே சார்பு இயக்கம் ஏற்படும். இந்நிலையில் ஒரு ஒளிக்கற்றை ஒரு தோற்று வாயிலிருந்து பூமியில் உள்ள ஒரு நோக்குநரை நோக்கிப் பூமி இயங்கும் திசையிலேயே அனுப்பப்பட்டால் எதிர்த் திசையில் செலுத்தப்பட்டால் போய்வர எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொள்ளுமோ அதைவிட அதிக நேரம் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். ஏனெனில் ஒளி பூமி செல்லும் திசையிலேயே செலுத்தப்படுவதால், நோக்குநர் முன்னேறி வரும் ஒளியிலிருந்து



மைக்கேல்சன்

விலகிப் போய்க் கொண்டே இருக்கிறார். ஆனால் ஒளி பூமி இயங்கும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் செலுத்தப்பட்டால் முன்னேறி வரும் ஒளியை நோக்கி நோக்குநர் முன்னேறி வருகிறார். செய்முறையின் நோக்கம் இவ்விரு முறைகளிலும் ஏற்படும் நேர வித்தியாசத்தைக் கணக்கிட்டு, அதிலிருந்து ஈதருக்கும் பூமிக்கும் உள்ள சார்பு வேகத்தைக் கணக்கிடலாம் என்பதே ஆகும். இவ்வாறு கிடைக்கும் முடிவு அசைவிலா ஈதர் என ஒன்று இருப்பதைக் கூறும். அதன் வழியாக ஒளியியல் முறைகளில் சார்பற்ற இயக்கத்தைக் காணக்கூடும். பூமி சூரியனைச் சுற்றி ஒரு செகண்டிற்கு 18·5 மைல் வேகத்தில் செல்வதால் இச் சோதனைக்காகும் மிகக் குறைந்த காலத்தில், பூமியின் இயக்கம் சீராக இருப்பதாகவும், நேர்க்கோட்டில் செல்வதாகவும் கொள்வது ஏற்புடையதே ஆகும்.

லாரன்ஸ்—ஃபிட்ஜெரால்ட் குறுக்கம் (Lorentz-Fitzgerald Contraction):

செய்முறையில் நுட்பம் மிக்க உத்திகளைக் கையாண்டு, மிக்க முன் எச்சரிக்கையோடு செய்தபோதும் மேலே எண்ணியவாறு

நேரத்தில் மாறுபாடு ஏதும் நிகழவில்லை. குறைந்தது எதிர்பார்த்த அளவுகூட கிடைக்கவில்லை. இத்தகைய மாறுன விளைவு, ஈதரின் அசையாக் கொள்கையைவிட, ஈதர் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது என்னுங்கருத்துக்கு ஆதரவாக இருப்பதுபோல் தோன்றிற்று. அசைவிலா ஈதர் கொள்கையின் பாதுகாவலர்களான லாரண்ட்ஸ் மற்றும் ஃபிட்ஜரால்ட் ஆகியோர் இச்சோதனையின் மாறுன விளைவுக்கு ஒரு விளக்கம் தந்தனர். லாரன்ஸ் ஃபிட்ஜரால்ட் குறுக்கம் என்னும் பெயர் கொண்ட அவ் விளக்கத்தின்படி நிலையாக உள்ள ஈதரின் வழியே பொருள் செல்லும்போது பொருளின் மூலக் கூறுகளிடையே ஏற்படும் மின்விசைகளின் செயல் மற்றும் எதிர் செயல் (interaction) இவைகளைப் பொறுத்துத் திண்பொருளின் அளவும் உருவும் மாற்றமடையக்கூடும். இக் கருத்தின் அடிப் படையில் பூமி இயக்கத்தின் திசையில் அமைந்த பாதையின் நீளம் அவ்வியக்கத்தின் காரணமாக, சோதனையில் கண்ட மாறுன விளைவுக்கு ஈடு செய்வதற்கு ஏற்ற அளவு குறைகிறது என நிலை நாட்டினர். எனினும் அவ்விளக்கம் குறிப்பிட்ட தொல்லையில் இருந்து விடுபடுவதற்காகச் சமயத்திற்குத் தக்கவாறு செய்து கொண்ட ஒரு கொள்கையென்றே பலர் நினைத்தார்கள். லார்ட் ரலே (Lord Rayligh) என்பார் அவ்வாறு மின்னியக்க அடிப்படையில் ஏற்படுகின்ற உருவ மாற்றம் இரட்டை விலக்கம் (double refraction) உண்டாக்குதல் வேண்டும் என்று குறிப்பிட்டார். ரலேயும், மற்றையோரும் இத்தகைய நிகழ்ச்சியைப் பெற கவனத்தோடு முயன்றபோதும் பயனேதும் விளையவில்லை.

ஐன்ஸ்டீன் கூறிய புரட்சியான கருத்து :

ஒரு பொருள் ஈதரின் வழியாகச் செல்லும்போது உண்டாகும் 'சார்பற்ற இயக்கம்' என்னும் பிரச்சினையைத் தீர்க்க, பலரால் கொடுக்கப்பட்ட தீர்வுகள் பல இன்னல்களையும் குழப்பத்தையும் தருவதாய் இருந்தன. இதைக்கண்ட விஞ்ஞானிகளுக்கு இப் பிரச்சினை எதை அடிப்படையாக வைத்து எழுப்பப்பட்டதோ அந்த அடிப்படைக் கொள்கையே தவருக இருத்தல் கூடும் என்று எண்ணத் தோன்றியது. இதே கருத்து ஐன்ஸ்டீனுக்கு எழவே, ஈதர் என ஒன்று இல்லவே இல்லை என்று கூறி அது வரை விடாமுயற்சியுடன் எழுப்பப்பட்டு ஆராயப்பட்டுவந்த அப் பிரச்சினைக்கு முற்றுப்புள்ளியிட்டார். ஈதரின் வழி இயக்கம் என்பது பொருளற்றது என்றும் பருப் பொருளைச் சார்ந்த இயக்கம் என்பது மட்டுமே பௌதிகச் சிறப்புடையது என்னும் புரட்சி மிக்க கருத்தினைக் கூறினர். நன்கு அறிந்த ஒளியியல் விதிகளுக்கு இக் கருத்துகளைப் பொருத்தி அமைக்கும் பொருட்டு நேரம் (time) மற்றும் வெளி (space) இவைகளுக்குப் புதிய முறையில்

விளக்கம் தந்தார். இவ் விளக்கங்கள் பழைய கருத்துகளை அடியோடு மாற்றிவிட்டுச் சார்புக் கொள்கை என்னும் அவருடைய புதிய கொள்கைக்கு வித்திட்டது. இக் கொள்கை செய்முறையில் கண்ட உண்மைகளைத் தொடர்பு படுத்துவதில் முன்பு ஏற்பட்ட இடர்ப்பாடுகளை நீக்கியதோடு அல்லாமல் எல்லா பௌதிக நிகழ்ச்சிகளுக்கும் புதிய விளக்கந்தந்தது.

ஐயன்ஸ்டீன் சார்புக் கொள்கை :

'இவ்வாறு இருக்கலாமோ' என லாரன்ஸால் ஐயப்படப்பட்டு ஐன்ஸ்டீனால் தெளிவாகக் கூறப்பட்ட, நேரம், மற்றும் வெளி இவை பற்றிய புதிய கருத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டதே இக் கொள்கை பழைய விசையியல் (mechanics) காலம் என்பது சார்பற்றது என்றும் எங்கும் பொருந்துகிற ஒன்று என்றும் எண்ணிற்று. அதன் விளைவாகத்தான் உடன் நிகழ்வுகளும் (simultanity of events) சார்பற்றன—குறிப்பு ஆயங்களின் (plane of reference) இயக்க நிலையைப் பொறுத்தது அல்ல என்றும் எண்ணப்பட்டது. இதை எண்ணளவில் $t = t'$ என்னும் தொடர்பால் குறிப்பிடலாம். இதில் t மற்றும் t' என்பன ஒன்றைச் சார்ந்து ஒன்று இயங்கும் இரு குறிப்பு ஆயங்களில் (frames of reference) ஒரு நிகழ்ச்சியின் ஆயத் தொலைவுகளைக் (coordinates) குறிக்கின்றன. ஐன்ஸ்டீன் கருத்துப்படி காலம் என்பது ஒரு நோக்குநருக்கும் மற்றொருவருக்கும் வேறுபடும் தன்மை உடையது. எனவே, சார்பற்ற காலம் (absolute time) என்ற ஒன்று இல்லை. எனவே, உடன் நிகழ்வு என்பது சார்பற்றதாக இருக்க முடியாது—சார்புள்ளதே ஆகும். ஒரு குறிப்பு ஆயத்தில் உடன் நிகழ்வாக இருக்கும் நிகழ்ச்சிகள் முதல் ஆயத்துடன் சார்பு வேகங் கொண்ட வேறொரு குறிப்பு ஆயத்திலிருந்து நோக்கும்போது அவ்வாறிருப்பதில்லை. இதையே ஒவ்வொரு குறிப்பு ஆயமும் அதற்கே உரிய குறிப்பிட்ட காலம் கொண்டது. என்றும் கூறலாம். ஒரு ஆய அமைப்பில் 't' ஆக இருக்கும் காலம் அந்த ஆய அமைப்புடன் சார்பு வேகம் கொண்ட வேறொரு ஆய அமைப்பில் t' ஆக இருக்கும் $t \neq t'$ ஆக இருக்கிறது. காலக் குறிப்பு எதைக் குறிப்பு ஆயமாகக் கொண்டு கூறப்பட்டிருக்கிறது என்பதைக் கூறுவிட்டால் ஒரு நிகழ்ச்சியின் காலத்தைக் குறிப்பிடுவதில் அர்த்தமே இல்லை. சார்பற்ற காலம் என்ற ஒன்று இல்லை என்றும் t மற்றும் t' இவை இரண்டும் சமமானவை அல்ல என்றும் தள்ளிவிட்ட பின்னர், சார்பு வேகங் கொண்ட இரு குறிப்பு ஆயங்களிலிருந்து இரு புள்ளிகளின் இடைத் தூரத்தை அளந்து அவற்றை x மற்றும் x' என்று குறித்தால் $x = x' - vt$ என்னும் பழைய தொடர்பினைக் கொண்டு குறிப்பிட முடியாது.

வேறு ஏதாவது ஒன்ருல் தொடர்பு படுத்த வேண்டும். இங்கு என்பது அவ்விரு குறிப்பு ஆயங்களின் சார்பு வேகமாகும் (relative velocity) இவ்வாறு சார்பற்ற வெளி என்பதும் கைவிடப்பட்டது.

ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கையில் இரு பகுதிகள் உள்ளன. அவை தனியான அல்லது வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியல் (special or restricted relativity) மற்றும் பொதுவான சார்பியல் (general relativity) என்பனவாகும். 1905-ல் நேர்க்கோட்டு இயக்கம் பற்றிய பிரச்சினைகளைத் தீர்க்க வரையறைக்குட்பட்ட சார்புக் கொள்கை முறையாக உருவாக்கப்பட்டது. இதில் ஒரு நோக்குநர் அவருடைய அளவு கருவிகளுடன், மற்றொரு நோக்குநரையும் அவருடைய அளவு கருவிகளையும் பொறுத்து நிலையான ஒரு வேகத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கிருர். ஒளியியல் நிகழ்ச்சியில் விரிவாக விவாதிக்கப்பட்ட 'சார்பற்ற இயக்கம்' என்னும் புதிரை விடுவிப்பதே இச் சார்பியலின் முக்கிய நோக்கமாகும். 1915-ல் இக் கொள்கை சீரற்ற திசை வேகமுள்ள (Nonuniform velocity) இயக்கங்களை விளக்கும் பொருட்டு மேலும் விரிவாக்கப்பட்டது. இது பொதுச் சார்பியல் என வழங்கப்பட்டது. ஏனெனில் இது பூமி போன்ற வான் பொருள்களின் சிக்கலான முடுக்கங்கொண்ட இயக்கங்களுக்கும் பயன்படுத்தக் கூடியதாகும். நியூட்டன் கூறிய விளக்கங்களைவிட புவிஈர்ப்பு விதிபற்றி இக் கொள்கை தந்த அதிக நுட்பதிட்பம் மிக்க விளக்கங்களே இக் கொள்கையின் பெரு வெற்றியாகும்.

வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியல்

மூல அடிக்கோள்கள் (Fundamental Postulates) :

வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியலின் இரு அடிக்கோள்களாவன :—

(a) இயங்கும் ஒரு அமைப்பில் இருக்கும் ஒருவரால் சார்பற்ற இயக்கத்தை அளக்கவே முடியாது.

(b) ஒளியின் வேகம் அதன் தோற்றுவாயிக்கும் நோக்குநருக்கும் இடையே உள்ள சார்பு இயக்கத்தைப் பொறுத்தது அல்ல. அது மாருத ஒன்ருகும்.

முதல் எடுகோள் (postulate), சார்பற்ற வெளி மற்றும் சார்பற்ற காலம் இவற்றை மறுக்கிறது. எனவே ஒரு அமைப்பின் உள்ளிருந்து கண்டுபிடித்த குறிப்புகளைக் கொண்டு அவ்வமைப்பின்

சீரான நேர்க் கோட்டியக்கத்தை (rectilioear motion) காட்டுதல் இயலாது என்பதை வெளிப்படுத்துகிறது. ஒரு சீரான வேகத்தோடு நேர்க்கோட்டில் செல்லும் இரயிலில் உள்ள ஒருவர் ஒரு பந்தை (ball) மேல் நோக்கி எறிவதாகக் கொள்வோம். அவருக்கு அப் பந்து நேர்க்கோட்டில் செல்வதாகத் தெரியும். ஆனால் இரயிலுக்கு வெளியே நிற்கும் வேறொருவருக்கு பந்து பரவளையப் (parabola) பாதையில் செல்வதாகத் தோன்றுகிறது. இரயிலில் உள்ள மனிதன் அவன் இரயிலுக்குள்ளே செய்கின்ற சோதனையிலிருந்து இரயில் நின்று கொண்டிருக்கிறதா அல்லது சீராக இயங்கிக் கொண்டிருக்கிறதா என்பதை அறிதல் இயலாது. ஆனால் இரயிலுக்கு வெளியே நிற்கின்ற மனிதன் அதே சோதனையிலிருந்து அவனைப் பொறுத்து இரயிலின் இயக்கத்தைக் கண்டு கொள்ளமுடியும். நியூட்டன் நினைத்தபடி விசையியல் சோதனைகளுக்கு மட்டுமல்லாது எல்லா பௌதிக அனுபவங்களுக்கும் நியூட்டனின் சார்புக் கோட்பாட்டினை (relativity principle) பொதுமைப் படுத்தும் பொருட்டே சார்புக் கொள்கையின் முதல் எடுகோள் (Postulate) ஏற்பட்டது. ஒன்றுக் கொன்று சீரான சார்பு இயக்கங் கொண்ட இரு குறிப்பு அமைப்புகளை (Systems of reference) வைத்துப் பௌதிக நிகழ்ச்சிகளின் விதிகளை விவரித்தால் அவை இரண்டு அமைப்பிலும் ஒன்றாகவே இருக்கும். இவ்வாறு ஐன்ஸ்டீன் சார்புக் கொள்கையின் தொன்மைக்கோட்பாடுகளில் இருந்து சார்பற்ற வெளி மற்றும் சார்பற்ற காலம் என்ற கருத்துகளை நீக்கி அதை வியக்கத்தக்க விளைவுகளை ஏற்படுத்தும் வகையில் சிறந்த ஒன்றாக மாற்றினார்,

ஒளி வேகத்தின் மாறாத் தன்மையினையும், தோற்றுவாயிக்கும் ஒளியை நோக்குநருக்கும் இடையே உள்ள சார்பு இயக்கத்தைச் சார்ந்திருக்காத அதன் தன்மையையும் உறுதிப்படுத்தும் இரண்டாவது அடிக்கோள் ஒரு எளிய செய்முறை உண்மையை (experimental fact) குறிப்பதாகத் தோன்றுகிறது. சோதனையின் மூலம் ஒளி வேகத்தின் மாறாத் தன்மையையும், சார்பற்ற அதன் தன்மையையும் நேரடியாக செய்முறை மூலம் மெய்ப்பிக்க முடியாது என்பது உண்மையே. ஆனால் அத் தன்மை 'உடன் நிகழ்வு' (simultanity) என்பதன் வரையறைக் (definition) கூற்றிலிருந்தே பெறப்பட்டு விடுகிறது. ஒளியின் வேகம் நோக்குநருக்கும் தோற்றுவாயிக்கும் இடையே உள்ள சார்பு வேகத்தைப் பொருத்தது அல்ல என்பதை ஒப்புக் கொள்வதற்கு, மைக்கேல்சனின் சுழலும் ஆடிமுறை (michelson's rotating mirror method) ஜூபிடரின் துணைக் கோள்களைக் கொண்டு ரோமர் நடத்திய வானவியல் ஆய்வுக் குறிப்புகள், டி சிட்டரின் (De Sitter's) மாறும்

விண் மீன்கள் பற்றிய ஆய்வுகள் போன்றவை சான்றுகளை அளிக்கின்றன.

இவ் விரண்டு எடு கோள்களுக்குள்ளும் முதலாவதை விட, இரண்டாவதே சார்புக் கொள்கைக்கு முக்கியமானதும் அடிப்படையாக அமைவதும் ஆகும். ஏனெனில் இக் கொள்கையின் மூலமாகத்தான் தொன்மைக் கொள்கைகளை விட்டு மாறிச் செல்கிறதே அன்று முதலாவது அடிக் கோளின் மூலகமாக அல்ல. ஒரு அமைப்பில் ஏற்படும் பௌதிக நிகழ்ச்சி ஒன்றை விவரிக்கும் ஆயத் தொலைவுகளிலிருந்து, முதல் அமைப்பைப் பொறுத்து சீராக நேர்க்கோட்டில் இயங்கும் மற்றொரு அமைப்பில் அதே நிகழ்ச்சியை விவரிக்கும் ஆயத் தொலைவுகளுக்கு—சம நிலைக் கோட்பாட்டிலிருந்து எந் நிலையிலும் பிறழாதவாறு-மாற்றுவதற்கு ஒளியின் வேகம் மாறாத் தன்மையை இரு அமைப்புகளிலும் பயன்படுத்துதல் வேண்டும். இவ்விரு அடிக் கோள்களின் இத்தகை இணைப்பிலிருந்து நாம் இப்போது காணப்போவது போன்ற மிக முக்கியமான முடிவுகளை அடைதல் கூடும்.

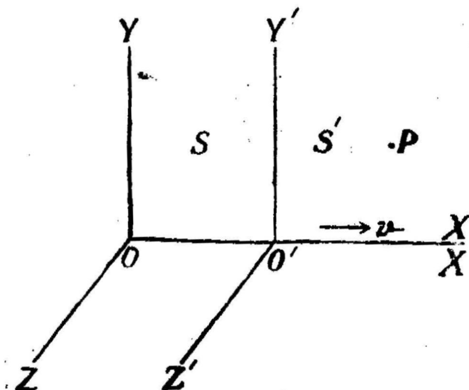
வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியலின் சமன்பாடுகள்

(Equations of Special relativity)

தனித்தனியான நிகழ்ச்சிகளின் இடத்திற்கும் காலத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினை, ஒன்றுக் கொன்று சார்புடைய, சீரான நேர்க் கோட்டியக்கமுடைய இரு குறிப்பு அமைப்புகளில் (systems of reference) விளக்குவதாகக் கொண்டு சமநிலைக் கோட்பாடு மற்றும் ஒளியின் வேகம் மாறாத் தன்மை இவற்றின் அடிப்படையில் வரையறைக் குட்பட்ட சார்பியலுக்குரிய சமன்பாடுகளை எளிதில் பெறலாம்.

S மற்றும் S' என்பன இரு ஆய அமைப்புகளைக் (coordinate systems) குறிக்கின்றன. S' என்பது S-ஐ பொறுத்து v என்னும் சீரான இடமாறு வேகத்தில் (translatory velocity) நகர்கிறது. (படம் 140) P என்னும் ஏதோ ஒரு நிகழ்ச்சி அது எங்கு நடைபெற்றாலும் x, y, z, t என்னும் ஆயத் தொலைவுகளால் (coordinates) S அமைப்பில் O என்னும் இடத்தில் உள்ள ஒருவரால் கணிக்கப்படுகிறது. அதே நிகழ்ச்சி S' என்னும் அமைப்பில் உள்ள O' என்னுமிடத்திலுள்ள வேறொருவரால் x', y', z', t' என்ற ஆயத் தொலைவுகளாகக் கணிக்கப்படுகின்றது என்று வைத்துக் கொள்ளுவோம். எளிமை கருதி இவ்விரு அமைப்புகளின் x ஆயங்கள் ஒன்றோடொன்று நிலையாகப் பொருந்தி இருப்பதாகவும் கொள்

வோம். காலத்தை O மற்றும் O' இவை இரண்டும் ஒன்று சேரும் கணத்திலிருந்து கணக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். O மற்றும் O' இவை இரண்டும் ஒன்று சேருகின்ற அக் கணத்தில் நமது நிகழ்ச்சி யாகிய ஒளிக் குறிப்பு (light signal) சூழிக் காலத்தில் (zero time) உண்டாக்கப்படுகிறது. x ஆயத்தின் நேர்த்திசையை வைத்துப் பார்க்க t என்னும் காலத்திற்குப் பின்னர் ஒளி O விலிருந்து ct என்னுந் தூரத்தில் உள்ள புள்ளியை அடைந்திருக்கும் ஆதலால்



படம் 140.

S-ல் இருக்கும் O என்பவருக்கு $x-ct=0$ என்னும் தொடர்பின்படி ஒளிக் குறிப்பு அனுப்பப்படுகிறது. (இங்கு c என்பது ஒளியின் வேகமாகும்) ஒளியின் வேகம் மாறுது இருப்பதால் S' என்னும் அமைப்பில் உள்ள O' என்பவருக்கு அதே ஒளிக் குறிப்பு $x'-ct'=0$ என்னும் தொடர்புப்படி அனுப்பப்படுகிறது. ஒரே நிகழ்ச்சி இவ்விரு தொடர்பு (relation) களுக்கும் ஒத்ததாய் அமையும் பொருட்டு,

$$(x'-ct') = \lambda(x-ct) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

ஆதல் வேண்டும் இங்கு λ என்பது ஒரு மாறிலி (constant) ஆகும். இவ்வாறே x ஆயத்தின் எதிர்த் திசையை நோக்க,

$$x'+ct' = \mu(x+ct) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இங்கு μ என்பது வேறொரு மாறிலியாகும். இவ்விரு சமன்பாடுகளிலிருந்தும் x' மற்றும் t' இவற்றைத் தீர்க்கலாம் (solve)

(1) ஐயும் (2) ஐயும் கூட்ட

$$2x' = (\lambda+\mu)x-(\lambda-\mu)ct$$

அல்லது $$x' = \frac{(\lambda + \mu)}{2} x - \frac{(\lambda - \mu)}{2} ct$$

$$\frac{(\lambda + \mu)}{2} = a \text{ என்றும் } \frac{(\lambda - \mu)}{2} b$$

என்றும் எழுதினுல்,

$$x' = ax - bct \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

(1) லிருந்து (2) ஐ கழிக்க

$$2ct' = (\lambda + \mu)\, ct - (\lambda - \mu)x$$

அல்லது $$ct' = \frac{(\lambda = \mu)}{2} ct - \frac{(\lambda - \mu)}{2} x$$

$$= act - bx$$

$$\therefore \quad t' = at - \frac{bx}{c} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

S'-ஐ பொறுத்து S'-ன் சார்பு வேகமாகிய v-ஐ பெற சமன்பாடு (3)-ல் $x' = 0$ என்று பதிலீடு செய்யவேண்டும்.

$$\therefore \quad x = \frac{bc}{a} t$$

$$\frac{x}{t} = \frac{bc}{a}$$

t என்னுங் காலத்திற்குப் பிறகு இவ் வமைப்பு O-வில் இருந்து $x = vt$ என்னுந்தூரம் போயிருக்கும் ஆகையால் $\frac{x}{t}$ என்னும் அளவு S-ஐ பொருத்து S'-ன் சார்பு வேகமாகிய v-ஐ கொடுக்கிறது.

$$\therefore \quad v = \frac{x}{t} = \frac{bc}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

இரு அமைப்புகளிலும் நோக்குர்நகள் இருக்கின்ற இடங்களாகிய O மற்றும் O' என்னும் ஆய மையங்கள் (origin of axes) பொருந்தும் கணத்திலிருந்தே காலம் கணக்கிடப் படுவதால் $t = O$ என்று செய்யும் பதிலீட்டால் S' என்னும் அமைப்பில் அளந்த தொலைவுகளை S என்னும் அமைப்பிலிருந்தும், $t' = O$ என்று செய்யும் பதிலீட்டின் மூலம் S என்னும் அமைப்பில் அளந்த

தொலைவுகளை S' என்னும் அமைப்பிலிருந்தும் பெறலாம் எனத் தெரிகிறது.

சமன்பாடு (3)-ல் $t=0$ என்று பதிலீடு செய்ய

$x' = ax$ அல்லது $\triangle x' = a \triangle x$ என ஆகும்.

$$\triangle x' = 1 \text{ ஆக இருப்பின் } \triangle x = \frac{1}{a} \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

இதிலிருந்து S' என்ற அமைப்பிலிருந்து அளந்த போது இரு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் $\triangle x' = 1$ ஆக இருந்தால் அதே தூரம் S என்னும் அமைப்பிலிருந்து அளக்கும் போது,

$\triangle x = \frac{1}{a}$ ஆகத் தோன்றும் என்று தெரிகிறது.

சமன்பாடு (4)-ல் $t' = 0$ என்று பதிலீடு செய்ய

$act = bx$ என ஆகும்

$$\text{அல்லது } t = \frac{bx}{ac} = \frac{av}{c} \cdot \frac{x}{ac} = \frac{vx}{c^2}$$

(ஏனெனில் சமன்பாடு 5-ல்இருந்து $b = \frac{av}{c}$ என்று நாம் அறிவோம்.)

t-ன் மேற்கண்ட மதிப்பினைச் சமன்பாடு (3)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$x' = ax - \frac{av}{c} \cdot c \cdot \frac{vx}{c^2}$$

$$= ax - ax\frac{v^2}{c^2}$$

$$= a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)x$$

$$\text{அல்லது} \quad \triangle x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)\triangle x$$

$\triangle x$ என்பது ஒன்று ஆனல்,

$$\triangle x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

இதிலிருந்து S என்னும் அமைப்பிலிருந்து அளவிடும்போது $\triangle x = 1$ என்னும் தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கும் இரு புள்ளிகள் S' என்னும் அமைப்பில்

$$\triangle x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

என்னுந் தூரத்தால் பிரிக்கப் பட்டிருப்பதாகத் தோன்றும்.

S' என்னும் அமைப்பை வைத்து நோக்க அசையாமலிருக்கும் அளவு கோலின் நீளத்தை S என்னும் அமைப்பிலிருந்து கணக்கிடும்போது என்ன நீளம் இருக்குமோ அதுவும், S என்னும் அமைப்பை வைத்து நோக்க அசையாமல் இருக்கும் அளவு கோலின் நீளத்தை S' என்னும் அமைப்பிலிருந்து நோக்கிக் கணக்கிடும்போது உள்ள நீளமும் சமமாக இருத்தல் வேண்டும். எனவே மேலே கண்ட இரு புள்ளிகளின் இடைத் தூர மதிப்புகள் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

அதாவது $\triangle x = \triangle x'$

$$\therefore \quad \frac{1}{a} = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

அல்லது
$$a = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8)$$

a-ன் இம் மதிப்பினைச் சமன்பாடுகள் (3) மற்றும் (4) இவைகளில் பதிலீடு செய்ய

$$x' = \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times \frac{v}{c} \cdot ct$$

$$= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (9)$$

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times t - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times \frac{v}{c} \times \frac{x}{c}$$

$$= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (10)$$

ஆகிய இரு சமன்பாடுகள் கிடைக்கின்றன.

ஒளிக்குறிப்பு x ஆயத்தின் வழியாக மட்டுமே செல்கிறதென்று வரையறுக்கப்படாத, பொதுவான சமயங்களில் இரு அமைப்பு களிலும் Y ஆயமும் Z ஆயமும் இணையாக இருப்பதனுல் $y=y'$ என்றும் $z=z'$ என்றும் பூர்த்தி செய்து கொள்ளவேண்டும். இவ்வாறு நாம் சார்பியலின் அடிப்படைச் சமன்பாடுகளை (Fundamental equations of relativity) அடைகிறோம்.

$$\left.\begin{aligned} x' &= a(x-vt) \\ y'' &= y \\ z' &= z \\ t' &= a\left(t-\frac{vx}{c^2}\right) \end{aligned}\right\} \quad \dots \quad \dots \quad (11)$$

(i) இவை, லோரன்ஸின் மாற்றச் சமன்பாடுகள் (Lorentzion Transformation equations) எனப்படுகின்றன. ஏனெனில் மின் காந்த நிகழ்ச்சி சம்பந்தமான குறுக்க புனைவு கோள் (Contraction hypothesis) பற்றி இதே சமன்பாடுகளை முன்னரே லோரன்ஸ் வெளியிட்டுவிட்டார். ஆனுல் இங்கு அவை முற்றிலும் பொதுவான இயக்கவியல் அடிப்படையில் பெறப்பட்டுள்ளன. ஒரு அமைப்பில் நிகழும் பௌதிக நிகழ்ச்சியைக் குறிக்கும் இச் சமன்பாடுகளை இவ்வமைப்பைப் பொறுத்துச் சீராக நேர்க்கோட்டில் இயங்கும் வேறெந்த அமைப்பிலும் இதே நிகழ்ச்சியைக் குறிக்கக்கூடியவாறு இச் சமன்பாடுகளை மாற்றி அமைக்க வழி செய்வதால் இவை மாற்றச் சமன்பாடுகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சிக்குரிய ஆயத் தொலைவுகளை ஒரு அமைப்பில் தந்துவிட்டால் மற்றொரு அமைப்பில் இதே நிகழ்ச்சிக்குரிய ஆயத் தொலைவுகளை இச் சமன்பாடுகளின்மூலம் எளிதில் பெறலாம். எடுத்துக்காட்டாக S' என்னும் அமைப்பின் ஆயத் தொலைவுகள், கொடுக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். நாம் இதே நிகழ்ச் சிக்கு S என்ற அமைப்பின் ஆயத் தொலைவுகளை x, y, z, t என்பவை களின் மதிப்பைப் பெறுவகையில் சமன்பாடுகளைத் (11) தீர்த்து அடையலாம்.

$$\left.\begin{aligned} x &= a(x'+vt') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= a\left(t'+\frac{vx'}{c^2}\right) \end{aligned}\right\} \quad \dots \quad \dots \quad (12)$$

இச் சமன்பாடுகள் (12) v ன் குறி ஒன்றைத் தவிர மற்ற எல்லா வகையிலும் சமன்பாடுகள் (11) ஐ போலவே இருப்பதைக் காண்கிறோம். இதிலிருந்து S' என்னும் அமைப்பைப் பொறுத்து மற்றது $-v$ என்னும் வேகத்தில் இயங்குகிறது எனத் தெரிகிறது. நாம் எதிர்பார்க்கவேண்டியதும் இதுதான். ஆகவே இவ்விரு அமைப்புகளிலும் செயல், எதிர்ச் செயல்பான்மை (reciprocity) காணப்படுகிறது என்பதை அறிகிறோம். v-ல் ஏற்படும் குறி மாற்றம் சமன்பாடுகளின் அமைப்பை மாற்றவில்லை.

(ii) $x' = x - vt$; $y = y'$; $z = z'$ மற்றும் $t = t'$ என்னும் முது பழம் விசையியலின் (Classical mechanics) சமன்பாடுகளுடன் நாம் கண்ட சமன்பாடுகளை ஒப்பிட $(x - vt)$ ஐ a ஆல் பெருக்கினால் சார்பியல் சார்பியல் சமன்பாட்டின்படிக் கிடைக்கின்ற x' கிடைக்கிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம். இருப்பினும் v என்பது cயுடன் ஒப்பிட மிகக் குறைந்த ஒன்றாக இருக்கையில் $\frac{v^2}{c^2}$ என்பது விட்டு விடக்கூடிய அளவு சிறியதாகிவிடும். எனவே $a = 1$ ஆக (சமன்பாடு 8-ன்படி) சார்பியல் சமன்பாடு தொன்மைச் சமன்பாடாகச் சுருங்கிவிடுகிறது. பொருள்கள் விரைந்து செல்லும் போதுதான் சார்புக் கொள்கையால் விளையும் மாற்றங்கள் போற்றத்தக்கதாக இருக்கும்.

v என்பது cயுடன் ஒப்பிட மிகக் குறைந்ததாக இருக்கும்போது தவிர மற்றபடி இரண்டாவது அமைப்பின் காலம் t'-ம் முதல் அமைப்பின் காலம் t'யும் சமமாக இருப்பதில்லை. மேலும் அவை vஐ மட்டுமன்றி முதல் அமைப்பின் x ஆயத் தொலைவாகிய xஐயும் சார்ந்திருக்கின்றன. எனவே ஒரு அமைப்பிலிருந்து பார்க்கையில் ஒரே இடத்தில் வெவ்வேறு காலங்களில் நடக்கும் நிகழ்ச்சிகள் சார்புக் கொள்கைப்படி வேறொரு அமைப்பிலிருந்து பார்க்கையில் வெவ்வேறு இடங்களில் நடப்பவையாகத் தோன்றக்கூடும். இவ்வாறே ஒரு அமைப்பைப் பொறுத்தவரை ஒரு இடத்தில் காணப்படுவது வேறொரு அமைப்பைப் பொறுத்தவரை காலத்தாலும் இடத்தாலும் வேறுபட்டதாகக் காணப்படுதல் கூடும். இவ்வாறு குறிப்பு ஆயத்தை மட்டும் மாற்றி விடுவதால் இடவேறுபாட்டை ஓரளவு காலவேறுபாடாகவும், காலவேறுபாட்டை இடவேறுபாடாகவும் மாற்றக் கூடும். இதன் காரணமாகத்தான் காலம், வெளி இவை இரண்டும் நாற்பரிமாண வெளி - காலம் தொடர்பத்தின் (four-dimensional space-time continuum) நெருங்கிய தொடர்புடைய கூறுகளாகக் கருதப்படுகின்றன.

(iii) சமன்பாடுகளில் v என்பது c-ஐ விடச் சிறியதாக இருத்தல் வேண்டும். இல்லாவிட்டால் $\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ என்பது கணக்கிடமுடியாத கற்பனை (imaginary) ஆகிவிடுகிறது. எனவே இக் கொள்கையில் எப்பொருளும் ஒளியின் வேகத்தைவிட அதிகமான வேகத்துடன் செல்ல இயலாது.

காலத்தின் சார்பு இயல் (Relativity of Time) :

$t' \neq t$ என்பது மாற்றச் சமன்பாடுகளின் குறிப்பிடத்தக்க ஒரு விளைவாகும். "இருவேறு அமைப்புகளில் உள்ள கடிகாரங்கள் வெவ்வேறு அளவில் ஓடுகின்றன" என்று இக் கருத்தை சாதாரண வார்த்தைகளில் கூறலாம். ஒரு ஆகாய விமானத்தின் உள்ளே இருக்கும் ஒரு நோக்குநர் X ஆயத்தின் நேர்த்திசையில் (positive direction) (S' என்னும் அமைப்பில்) v என்னும் வேகத்தில் செல்கிறார். S என்னும் அமைப்பில் உட்கார்ந்திருக்கும் வேறொருவர் பிரயாண நேரம் t என்று அவருடைய கால அளவுப் படி கணக்கிடுகிறார். அதே பயணத்திற்கு ஆகாய விமானத்தில் இருப்பவர் கணக்கிடும் நேரம் t' ஆகும் இதைக் கணக்கிட

$$t' = a\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$

என்னும் சமன்பாட்டினை எடுத்துக்கொண்டு அதில் $x = vt$ என்று பதிலீடு செய்யவேண்டும். ஏனெனில் $x = vt$ என்பது (s-ல்) உட்கார்ந்திருக்கும் நோக்குநரின் கணக்குப்படி t என்னும் காலத்தில் விமானம் சென்ற நேரமாகும்.

$$\text{ஆகவே,}\quad i' = a\left(t - \frac{v^2t}{c^2}\right) = at\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$a = \left(\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ ஆகையால்,}\quad t' = t\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{எனவே,}\quad t' < t$$

இதிலிருந்து அசையாது இருப்பவருக்கு ஒரு சரியான காலமும் விமானத்தில் இயங்கிக் கொண்டிருப்பவருக்கு ஒரு சரியான காலமும் ஆக இரு சரியான காலங்கள் இருக்கின்றன என்பது தெரிகிறது. பிரயாணத்திற்கு ஆகும் நேரம் முதலாமவருக்கு அதிகமாகவும், இரண்டாமவருக்குக் குறைவாகவும்

தெரிகிறது. எனவே விமானத்தில் இருப்பவரைக் காட்டிலும் அசையாது இருப்பவருக்கு விமானம் மெதுவாகச் செல்வதாகத் தெரிகிறது. a என்பதில் v^2 மட்டுமே வருவதால் மேற்கண்ட முடிவுக்கும் v-ன் குறி(Sign)க்கும் தொடர்பு இல்லை. ஒவ்வொரு அமைப்பிலும் உள்ள நோக்குநர்கள் மற்றவர் மெதுவாகப் போவதாக நினைக்கிறார்கள் $v = c$ ஆகவும் $a = \infty$ ஆகவும் இருக்குமானால் அப்போது அசையாதிருக்கும் நோக்குநருக்கு விமானம் அசையாது இருப்பதுபோலவே தோன்றும். சாதாரணமாக கால விரிவு (Time dilatation) எனப்படும் காலத்தைப்பற்றிய இக் கொள்கையின் முடிவுகள் காலத்தின் சார்புத் தன்மையைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன. அதாவது காலத்தைச் சார்பற்ற நிலையில் அளக்க இயலாது. சார்புடைய ஒன்றாகத்தான் அளக்க முடியும் என்று பொருள்.

உடன் நிகழ்வின் சார்பு இயல் (Relativity of Simultaneity) :

S என்னும் அமைப்பில் நிகழும் இரு நிகழ்ச்சிகள் $(x_1\ y_1\ z_1\ t_1)$ என்பதாலும் $(x_2\ y_2\ z_2\ t_2)$ என்பதாலும் குறிக்கப்படுவதாக வைத்துக்கொண்டு, S' என்னும் வேறொரு அமைப்பிலிருந்து நோக்க அவை நிகழும் காலம் மாற்றச் சமன்பாடுகளின்மூலம் கீழ்க்கண்டவாறு தரப்படுகிறது.

$$t_1' = a\left(t_1 - \frac{vx_1}{c^2}\right)$$

$$t_2' = a\left(t_2 - \frac{vx_2}{c^2}\right)$$

இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளும் S என்னும் அமைப்பில் உடன் நிகழ்வதாகக் கொண்டால் $t' = t_2$ என்றாகும். ஆனால் $x_1 \neq x_2$ எனவே $t_1' \neq t'_2$ இதிலிருந்து S-ல் உடன் நிகழ்வதாகத் தோன்றும் நிகழ்ச்சிகள் S'-ல் உடன் நிகழ்வாகத் தெரியாது. எனவே காலத்தைப் போலவே உடன் நிகழ்வு என்பதும் சார்புடையதே. சார்பற்றது அல்ல.

(vi) **வெளியின் சார்பியல்** (Relativity of space) :

சார்பியல் சமன்பாடுகளிலிருந்து காலத்தைப் போலவே நீளமும் சார்புடையதே, சார்பற்றது அல்ல என்பது தெரிகிறது. S' என்னும் அமைப்பில் அசையாது இருக்கும் ஒரு தண்டு X ஆயத்தின் வழியே எடுத்துச் செல்லப்படுவதாகக் கொள்வோம். x_1' மற்றும் x_2' என்பன அத் தண்டு முனைகளின் ஆயத் தொலைவுகள்

எனின் S'-ல் உள்ள தண்டின் நீளமாகிய $l' = x_2' - x_1'$ என்ப தால் பெறப்படுகிறது.

S' என்பது Sஐ பொறுத்து v என்னும் வேகத்தில் நகரும் போது S-ல் உள்ள ஒரு நோக்குநர் S'-ல் உள்ள தண்டின் நீளத்தை அளப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். அவருக்குத் தோன்றும் தண்டின் நீளம் $l = x_2 - x_1$ என்பதால் தரப்படுகிறது.

மற்றச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்த,

$$x_2' = a\,(x_2 - vt)$$

$$x_1' = a\,(x_1 - vt)$$

$$\therefore \quad l' = x_2' - x_1' = a\,(x_2 - x_1) = al$$

$$\therefore \quad l < l' \text{ ஏனெனில் } a = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

இவ்வாறு இயங்கும் S' என்னும் அமைப்பில் உள்ளவருக்குத் தோன்றுவதைவிட S என்னும் (அசையாத) அமைப்பில் உள்ள வருக்கு அத் தண்டின் நீளம் குறைவாகத் தெரியும் இதையே, ஒரு தண்டு அசையாது இருக்கும்போது அதை அளப்பவருக்குத் தெரியும் அதன் நீளத்தைவிட அது இயங்கும்போது அதை அளப் பவருக்கு அதன் நீளம் குறைவாகத் தெரியும் என்றும் கூறலாம். ஏற்படும் குறுக்கத்தின் அளவு $\frac{1}{a}$ அல்லது $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ என்னும் விகிதத்தில் இருக்கும் இது லோரண்ட்ஸ் — ஃபிட் ஜெரால்ட்டு குறுக்கமேதான். ஆனால் ஒரே ஒரு வேறுபாடு இது மின்காந்தப் பண்பின் அடிப்படையில் மட்டும் கண்டதல்ல. இயக்கவியல் (dynamical) அடிப்படையில் எல்லாப் பொருட் களுக்கும் பொருந்தும் வகையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒன்றும். மேலும் குறுக்கம் என்பது லோரன்ஸ் நினைத்தவாறு பருப் பொருளின் தன்மையை மட்டும் பொறுத்ததல்ல. நோக்குநர் 'உடன் நிகழ்வு' என்பதை எவ்விதத்தில் வரையறுக்கிறாரோ அதையும் பொறுத்தது ஆகும். குறுக்கத்திற்குரிய வாய்பாட்டில் v^2 என்பது காணப்படுவதால் குறுக்கம் என்பது செயல், எதிர் செயல் (receprocal) தன்மை உடையது. அதாவது S மற்றும் S' என்னும் அமைப்புகளில் ஒரே நீளங்கொண்ட இரு தண்டுகள் அசையா நிலையில் இருந்தால் ஒவ்வொரு நோக்குநரும் மற்ற அமைப்பில் உள்ள தண்டு தன்னிடம் இருக்கும் தண்டைவிட

குட்டையாக இருப்பதைக் காண்கிறார். $v=c$ ஆகும் போது $l=0$ இயக்கத்தில் இருக்கும் தண்டின் நீளம் ஒரு புள்ளி அளவுக்குக் குறுகித்தோன்றும். இயக்கம் எத்திசையில் நடைபெறுகிறதோ அதே திசையில்தான் குறுக்கமும் ஏற்படும். இயக்க திசைக்குக் குத்தான திசைகளில் குறுக்கம் ஏற்படுவதில்லை. எடுத்துக் காட்டாக இயக்கத்திலுள்ள ஒரு நோக்குநர் தனது கையில் ஒரு கோளத்தை எடுத்துச் சென்றால், அசையாது இருக்கும் நோக்குநருக்கு அது ஒரைவட்டக் கட்டியாகத் (ellipsoid) தெரியும். பௌதிகத்தில் நீளம், மற்றும் பொருட்களின் வடிவியல் உருவம் (geometrical shapes) இவைகளின் அளவுகளாகச் சுருங்கிவிட்ட வெளி என்பது சார்பற்றதாக இருக்க முடியாது. சார்பியல் கொள்கைகளின் படி சார்புடையதே ஆகும்.

மைக்கேல்சன் மற்றும் மார்லி இவர்களின் செய்முறையில் கண்ட மாறான முடிவுக்கு இயக்க திசையில் (direction of motion) ஏற்படும் குறுக்கத்தை வைத்து விளக்கந்தர இயலாது.

(iii) **வேகங்களைச் சேர்த்தல்** (Addition of velocities)

வேகங்களைச் சேர்க்க, தொன்மை விசையியல் தந்த வாய்பாடு (formula)களிலிருந்து மாறுபட்ட சார்பியல் வாய்பாடுகளை, மாற்றச் சமன்பாடுகள் தருகின்றன.

S மற்றும் S' என்னும் இரு அமைப்புகளை எடுத்துக்கொண்டு அவைகளில் ஒரு பொருளின் திசை வேகத்தை (velocity) பின் வருமாறு கூறலாம். S என்னும் அமைப்பில் பொருள் dt என்னுங் காலத்தில் dx என்னுந்தூரம் செல்வதாகவும், S' என்னும் அமைப்பில் dt' என்னுங்காலத்தில் dx' என்னுந்தூரம் செல்வதாகவும் வைத்துக்கொள்ளுவோம்.

$\frac{dx}{dt} =$ மற்றும் $\frac{dx'}{dt'} = u'$ இங்கு u மற்றும் u' என்பன முறையே S மற்றும் S' என்னும் அமைப்புகளில் அப் பொருளின் வேகமாகும்.

மாற்றச் சமன்பாடுகளி(12)லிருந்து,

$$x = a\,(x' + vt')$$

$$t = a\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right)$$ என ஆகும்.

இவைகளைப் பகுதிகரணில் (differentiating)

$$dx = a\,(dx' + vdt')$$

$$dt = a\left(dt' + \frac{vdx'}{c^2}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{dx}{dt} = \frac{dx' + vdt'}{dt' + \frac{vdx'}{c^2}}$$

$$= \frac{\frac{dx'}{dt'} + v}{1 + \frac{v}{c^2}\cdot\frac{dx'}{dt'}}$$

அதாவது, $u = \dfrac{u' + v}{1 + \frac{v}{c^2}\cdot u'}$ இது தான்

வேகங்களைச் சேர்ப்பது பற்றிய சார்பியல் விதி (relativistic law) எனப்படும். ஆனால் தொன்மை விசையியலில், v என்பது இரு அமைப்புகளின் சார்பு வேகம் ஆகையால் $u = u' + v$ என்று மட்டுமே கூறப்படுகிறது. முன்னற் கூறிய,

$u = \dfrac{u' + v}{1 + \frac{v'}{c^2}\cdot u'}$ என்பது u அல்லது

v என்பது c யுடன் ஒப்பிட மிகச் சிறியதாக இருக்கும்போது பின்னர் கூறிய $u = u' + v$ என்றவாறு சுருங்கும்.

வேகங்களைச் சேர்க்கும் சார்பியல் விதி ஒளியின் வேகமாகிய c என்பதைப்பற்றி ஒரு குறிப்பிடத்தக்க முடிவுக்குவர வழிசெய் கிறது. மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் u என்பது உண்மையான (real) மதிப்புடையதாக இருக்கவேண்டுமானல் u' மற்றும் v இவை c ஐவிட சிறியவைகளாக இருக்கவேண்டும். நாம் $u' = c$ என்று இடும்போது

$$u = \frac{v + c}{1 + \frac{vc}{c^2}} = \frac{v + c}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{v + c}{v + \frac{c}{c}}$$

$= c$ என்றுகிறது.

இதிலிருந்து s'லிருந்து அளக்கும்போது பொருளுக்கு உள்ள வேகமாகிய u' என்பது ஒளியின் வேகமாகிய cக்குச் சமமாக இருந்தால் அதே பொருளின் வேகத்தை s என்னும் அமைப்பிலிருந்து அளந்தாலும் அதன் வேகம் அதே c அளவாகவே இருக்கும். எனவே ஒளியின் வேகம் குறிப்பு அமைப்புகளின் வேகத்தைச் சாராத, சார்பிலா மாறிலி (absolute constant) ஆகும். நாம் $v = c$ என்று இட்டால்கூட $u = c$ என்றுகிறது. இதிலிருந்து c யுடன் எந்த வேகம் இணைக்கப்பட்டாலும் விளைவு வேகம் (resultant velocity) c ஆகவே இருக்கும். எனவே இயற்கையில் அடையக்கூடிய எல்லா வேகங்களிலும் ஒளியின் வேகமே உச்ச நிலை (Maximum) வேகமாகும் கணித இயலில் வரையிலி (infinity) வகிக்கும் இடத்தை, சார்பியலில் ஒளியின் வேகம் வகிக்கிறது.

வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியலின் முக்கிய முடிவுகள்
(Resticted theory relativity)

1. ஈதரின் பயனின்மை (Futility of Ether)

பொருட்களின் இயக்கமும், இயங்கா நிலையும் எதை அடிப்படையாக வைத்துக் கூறப்பட்டதோ அப்படிப்பட்ட ஈதர் என்னும் தொண்மை குறிப்பு அமைப்பு (system of reference) இக் கொள்கையால் மறைமுகமாக நீக்கப்பட்டு விட்டது. புவி ஈர்ப்பு, வெற்றிடத்தில் ஆற்றல் பரவுதல், மின்புலம், காந்தப்புலம் போன்ற தொலைவிலிருந்து செயல்படும் தன்மையுள்ள எல்லா இயற்கை நிகழ்ச்சிகளையும் விளக்குவதற்குத் தேவையான நீக்கவியலா ஒரு கருத்தளவு (abstract) கொள்கையாக ஈதர் என்பது நீண்டகாலமாக இருந்து வந்தது. ஆனால் அதன் தன்மையினை, சூழ்நிலையின் நெருக்கடிக்குத் தக்கவாறு விளக்கிவந்ததன் விளைவாக அடிக்கடி முரண்பாடுகள் ஏற்பட்டன. ஈதர் இலட்சிய வாயுவைவிட (perfect gas) இலேசானது, எல்லாப் பொருட்களிலும் ஊடுருவிச் செல்லக்கூடியது, ஒளி அலைகள் பரவிச் செல்வதற்கோ அல்லது அதன் வழி செல்லும் பொருட்களின் இயக்கத்திற்கோ எவ்விதமான தடையும் கொடுக்காதது என்றும் நம்பப்பட்டது. அதே நேரத்தில் குறுக்கு அலைகள் பரவிச் செல்வதற்கேற்ப உறுதி வாய்ந்த திண் பொருளாகவும் இருக்கவேண்டியிருந்தது. எனவே இது முரண்பட்ட உட்பண்புகளையும் மற்றும் புறப்பண்புகளையும் கொண்டிருப்பது தெரிகிறது. இத்தகைய ஈதர்தான் ஃப்ரானல் கூறிய ஒளியின் நெகிழும் திண்பொருள் (elastic solid) கொள்கைக்கு உயிர் நிலையாக இருந்தது. நெகிழும் திண் பொருள் என்னும் கருத்தை விட்டுவிட்டு ஒளியென்பது விரைவான திசை

மாறும் மின்முனைவு கொள்ளல் (quick alternating electric polarisation) ஆகும் என்று கூறிய மாக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்த கொள்கை (Maxwell's electromagnetic theory) இடர்ப்பாட்டினை ஓரளவு குறைத்தது.

மாக்ஸ்வெல்லின் மின் இயக்கவியல் (electro dynamics) கூறியுள்ளபடி சரிசீரமைவு இல்லாமை கிடைக்க வேண்டும். ஆனால், எந்த செய்முறைக் குறிப்புகளிலும் இது கிடைக்கவில்லை. இவ்வுண்மை ஐன்ஸ்டீனைக் கவர்ந்தது. இது போன்ற நினைவுகள் 'ஈதரில் இயக்கம்' என்றும் தீர்க்கப்படாத பிரச்சினையுடன் சேர அவர் முதலில் ஈதர் என்பது கூறிவிட்டு பின்னர் அதைப்பற்றி கவனிக்காமலேயே இருந்துவிட்டார். பின்னர், காணுகின்ற எல்லா இயற்கை நிகழ்ச்சிகளின் தன்மையையும் சார்பியல் கோட்பாடு முடிவு செய்கிறதென்னும் கருத்தினைக் கொண்டார். என்றாலும் ஐன்ஸ்டீன் எந்த இடத்திலும் ஈதர் என்ற ஒன்று இல்லையென நேரடியாகக் கூறவில்லை. அதைப் பற்றிய கருத்தினைப் பிறருக்கே விட்டுவிட்டார். ஈதர் என்ற ஒன்றின் உதவியின்றியே இயற்கை நிகழ்ச்சிகளை நன்கு விளக்க முடியும் என்று காட்டியதோடு அவர் நிறுத்திக்கொண்டார்.

2. கதிர் வீச்சின் உட்தன்மை (Intrinsic nature of radiations)

சார்பியல் கொள்கையில் ஈதர் என்ற ஒன்றை விட்டுவிட்ட பின்னர், அலை இயக்கத்தின் (wave motion) உட்தன்மை பற்றிய ஒரு முக்கியமான முடிவு வெளியாயிற்று. ஈதரில் ஏற்படும் கலக்கங்கள்தான் (perturbations) கதிர்வீச்சாகும் என்னும் தொன்மைக் கொள்கையைச் சார்பியல் புது முறைகளுக்கு ஏற்ப மாற்றி அமைத்தல் வேண்டும். கதிர் வீச்சு என்பது, முழு வெற்றிடத்தில் (absolute vacuum) ஊடகத்தின் பௌதிகப் பண்புகளைச் சாராது அதன் உள்ளார்ந்த பண்பினைச் சார்ந்து நிற்கும் வேகத்துடன் பரவுகின்ற ஆற்றல் துகள்களாகும் என்று கருதப்படலாயிற்று. அதாவது அவைகள் கொண்டுள்ள ஆற்றலின் அளவினைப் பொறுத்தது. இவ் வாற்றல் மாறு அளவுடைய ஒளி வேகத்தின் சார்பலனாகும் (fiunction) கதிர்வீச்சுப் பற்றிய துகள் கொள்கை (particalc conception) காரணமாக இதுவரை பொதுவாக ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டிருந்த பொருள் (பொருண்மை) மற்றும் கதிர் வீச்சு (ஆற்றல்) இவை வேறு வேறானவை என்னும் கொள்கையை விட்டு விட வேண்டியதாகிறது. கதிர் வீச்சின் நுண்ணிம இயல்பு சார்புக் கொள்கையின் மூலமாக மட்டும் நம்மீது திணிக்கப்படவில்லை. கருமைப் பொருள்களின் கதிர் வீச்சு (black body radiation) ஒளிமின் விளைவுகள் (photo electric effects) போன்ற செய்

முறை ஆய்வுகளின் மூலங்கண்ட உண்மைக் குறிப்புகளாலும் அவைகளுக்குப் பிளாங் (planck) கூறிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையாலும் (quantum theory, கதிர் வீச்சின் நுண்ணிம இயல்பினை (corpuscular nature) நாம் ஒப்புக் கொள்ள வேண்டியதாகிறது. இது பற்றி அடுத்த பிரிவில் பார்ப்போம். மின்காந்தக் கொள்கையைப் பொறுத்தவரை, சார்பியல் கொள்கை மின்காந்த விதிகளை (laws of electro magnetism) மறுக்காது மின்காந்த அலைகளுக்கு நுண்ணிமத் தன்மையுடன் அலைத் தன்மையையும் எதிர்பார்க்கிறது. அலைத் தன்மையைப் பொறுத்த வரை சார்பியல் கொள்கை அதற்கு ஒரு நுட்பமான கருத்தினைச் சேர்த்தது. மின்புலம் மற்றும் காந்தப் புலம் இவற்றிடையே உள்ள வேறுபாடு, பயன்படுத்தப்பட்ட குறிப்பு அமைப்பைப் பொருத்துச் சார்புடைய ஒன்றாகும். S என்னும் அமைப்பில் அசையாமல் உள்ள மின்னூட்டம் அவ்வமைப்பைப் பொறுத்தவரை மின்புலத்தை மட்டுமே உண்டாக்கும். ஆனால் S-ஐ சார்ந்து இயங்குகின்ற S' என்னும் அமைப்பிலுள்ள ஒரு நோக்குநரைப் பொறுத்து மேற்கூறிய அதே மின்னூட்டம் ஒரு மின்னேட்டத்தையும் அதைத் தொடர்ந்து காந்தப் புலத்தையும் ஏற்படுத்துகிறது.

வேகத்தால் நிறையில் ஏற்படும் மாறுபாடுகள் (Variation of Mass with velocity) :

தொன்மை விசையியலின்படி ஒரு பொருளின் பொருண்மை (mass) வேகத்தைப் பொறுத்தது அல்ல. அது மாறுத ஒன்று. ஆனால் சார்புக் கொள்கை முற்றிலும் மாறுபட்ட ஒரு முடிவுக்குக் கொண்டு செல்கிறது. வேகத்தால் நிறைமாறுகிறது என்பதே அம் முடிவாகும். சார்பியல் கோட்பாடுகளின் (relativistic principles) அடிப்படையில் இம் மாற்றத்தினை விளக்கும் சார்பலனை எளிதில் பெறுதல்கூடும். அது,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

என்னும் அமைப்பில் இருக்கும். இதில் m_0 என்பது பொருளின் அசையாநிலைப் பொருண்மை (rest mass) ஆகும். அதாவது நோக்குநரைப் பொறுத்தவரை ஒரு பொருள் அசையாதிருக்கும் போது கணக்கிடப்படும் பொருண்மை ஆகும். m என்பது பயனுள்ள நிறை (effective mass) எனப்படும். ஒரு நோக்குநரைப் பொறுத்து ஒரு பொருள் v என்னும் வேகத்தோடு இயங்கிக் கொண்டிருக்கும்போது அதற்குள்ள பொருண்மை அதன்

பயனுள்ள பொருண்மை ஆகும். எனவே நோக்குநரைப் பொறுத்த வரையில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் அமைப்பில் உள்ள எந்தப் பொருளுக்கும், அவைகளின் வேகம் அதிகமாக அதிகமாகப் பொருண்மையும் அதிகமாவதாகத் தோன்றும். v என்பது ஒளியின் வேகமாகிய c-ஐ எட்டிப் பிடிக்கும்போது பொருளின் பொருண்மை வரையிலி (infinity) ஆகிவிடும். இது மறுமுறையும் இயங்கும் பொருள்கள் அடைய இயலாத உச்சநிலை வேகம் c தான் என்பதைக் குறிப்பிடுகிறது. c யுடன் ஒப்பிட v என்பது சிறியதாக இருப்பின் (சாதாரணமாகவுள்ள எல்லா வேகங்களுக்கும்) $\frac{v^2}{c^2}$ என்பது தள்ளத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்கிறது. எனவே பொருளின் பொருண்மை, முதுபழம் விசையியலின் (classical mechanics) கொள்கைக்கேற்ப மாறுமலே இருக்கிறது. சார்பியலின் காரணமாக ஏற்படும் பொருண்மை மாற்றங்களை (kanfmann) மற்றும் புச்சரர் (Bucherer) என்பவர்கள் β கதிர்களின் மிகுந்த வேகமுடைய எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்டு செய்முறை மூலம் மெய்ப்பித்தனர். மேலும் பல குறிப்புகளும் இதன் உண்மைத் தன்மைக்குச் சான்றாக அமைந்துள்ளன.

(4) நிறை – ஆற்றல் தொடர்பு (Mass - Energy Relation) :

கடைசியாக, வரையறுக்கப்பட்ட சார்பியலின்மூலம் பொருண்மைக்கும் ஆற்றலுக்கும் உள்ள தொடர்பு காணப்பட்டது. இது தொன்மைப் பௌதிகம் கேட்டறியாத ஒன்றாகும். இதை $w = mc^2$ எனக் குறிப்பது வழக்கம் இதில் w என்பது இயங்கும் பொருளின் முழு ஆற்றலின் அளவினையும், m என்பது அதன் பயனுறு நிறை (effective mass)யினையும், c என்பது ஒளியின் வேகத்தையும் குறிக்கிறது. இத் தொடர்பினை எளிய முறையில் பின்வருமாறு பெறலாம்.

முதுபழம் இயக்கவியலின்படி (classical dynamics) ஆற்றலை (energy) வேலையின் (work) அளவினதாக வரையறுத்தல் கூடும். வேலை யென்பது விசை (force) மற்றும் இடப் பெயர்ச்சி (dislacement) இவைகளின் பெருக்கற் பலனாகும். விசை என்பது உந்தத்தின் (momentum) விகிதமே ஆகும். எனவே,

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

சார்பியல் கொள்கைப்படி பொருண்மை மற்றும் வேகம் இவை இரண்டுமே மாறக்கூடியன எனவே,

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt} + v \cdot \frac{dm}{dt}$$

மேற் கூறப்பட்ட F என்னும் விசை dx என்னும் தூரம் வரை செயற்படுவதால் உண்டாகும் இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) உயர்வினை de என்று கொண்டால்,

$$dE = F \cdot dx$$

$$= m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dx + v \cdot \frac{dm}{dt} \cdot dx$$

ஆனால் $v = \frac{dx}{dt}$ ஆகையால்,

$$dE = m.v.dv + v^2 . dm \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

வேகத்தினால் ஏற்படும் பொருண்மை மாற்றம் பற்றிய சார்பியல்விதி,

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

என்பது ஆகும். இதை இரு பக்கம் இருபடிக்கு உயர்த்த,

$$m^2 = \frac{{m_0}^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$= \frac{{m_0}^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

என எழுதலாம்.

அல்லது $m^2c^2 - m^2v^2 = {m_0}^2c^2$ ஆகும். இதைப் பகுதி காணில்

$$c^2.2mdm = v^2.2mdm - m^2.2v\mathrm{d}v = 0$$

ஏனெனில் m_0 மற்றும் c என்னும் இரண்டும் மாறிலிகள் ஆகும். எல்லாவற்றையும் $2m$ ஆல் வகுக்க,

$$c^2dm - v^2dm - mvdv = 0$$

$$\therefore \quad mvdv + v^2dm = c^2dm$$

இத் தொடர்பினை (1) உடன் ஒப்பிட,

$$dE = c^2dm \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

என்பது கிடைக்கிறது.

ஒரு பொருள் அசையா நிலையிலிருந்து தொடங்கி, v என்னும் வேகம் அடையும்வரை முடுக்கப்பட்டால் அதன் பொருண்மை m_0-ல் இருந்து m-க்கு உயர்கிறது அவற்றிற்கு உரிய இயக்க ஆற்றலை அடைய மேலே (2)-ல் கண்ட கோவையைத் (experission) தொகுதில் காணவேண்டும்.

$$\int dE = E = \int_{m_0}^{m} c^2 dm = c^2(m - m_0)$$

$$E = c^2 (m - m_0) \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

இது, பொருண்மையை அதிகரிக்கக் காரணமாய் இருப்பது இயக்க ஆற்றல் எனக் காட்டுகிறது. மேலும் நாம் இயங்கா நிலைப் பொருண்மை (m_0) என்றழைத்தது பொருள் தன்னுள்ளே சேமித்து வைத்துள்ள ஆற்றலின் அளவு என்பதை நாம் புரிந்து கொள்ளவேண்டும் என்பதையும் அது குறிப்பிடுகிறது.

இயங்கும் பொருளின் ஆற்றல் என்பது இயக்க ஆற்றல் மற்றும் சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ள உள் ஆற்றல் (internal energy) என்னும் இரு பகுதிகளால் ஆகியது. எனவே

$$W = E + m_0c^2 = (m - m_0)\, c^2 + m_0c^2$$

$$W = mc^2 \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

இதுவே புகழ்பெற்ற நிறை – ஆற்றல் தொடர்பாகும். இது பொருண்மைக்கும் ஆற்றலுக்குமிடையே உலகளாவிய ஒரு சம நிலையைத் (universal equivalence) தருகிறது. ஆற்றலின் அழி வின்மை (conservation of energy) என்னும் கோட்பாட்டின்மூலம் பல்வேறு விதமான ஆற்றல்களை-விசையியல் (ஆற்றல் நிலையாற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல்) வெப்ப ஆற்றல், ஒளி ஆற்றல் மின் மற்றும் காந்த ஆற்றல்கள் — இணைக்கவும் ஒருவகை ஆற்றலை இன்னொரு வகை ஆற்றலாக மாற்றவும் தொன்மைப் பௌதிகத்தால் இயன்றது. என்றாலும் பொருண்மைக்கும் ஆற்றலுக்கும் இடையே தெளிவான, வேற்றுமை இருந்தே வந்தது. பொருண்மை என்பது பொருளுக்குஅடிப்படையான ஒன்று என்றும், ஆற்றல் என்பது முக்கியமாக இயக்கத்தால் கிடைக்கக்கூடிய நிலையற்ற ஒரு தன்மை (transitory property) என்றும் கருதப்பட்டது. பொருண்மைக்கும் ஆற்றலுக்கும் இடையே இருந்த இத் தீவிரமான வேறுபாடு சார்பி யல் கொள்கையால் நீக்கப்பட்டது. இவை இரண்டிற்குமிடையே உலகளாவிய சமநிலைத் தொடர்பு ஒன்று இருப்பதும் மெய்ப்பிக்கப்

பட்டது. இவ்வாறு இரு வேறான அழிவின்மைக் கோட்பாடுகளை இணைத்து, பொருண்மை - ஆற்றல் சமநிலை (Mass – energy equivalence) என்னும் குறிப்பிடத்தக்க ஒரு கோட்பாடு உருவாக்கப் பட்டது. பொருண்மை - ஆற்றல் இவற்றிடையே உள்ள சமநிலை பற்றிய இவ் விதியின்படி W என்னும் ஆற்றல் $\frac{W}{c^2}$ என்னும் பொருண் மைக்குச் சமம் ஆகும். இது எவ்வகை ஆற்றலுக்கும்—அது, நிலை. இயக்கக் கதிர்வீச்சு அல்லது மின்காந்த ஆற்றல்களில் எது வாயினும் இவ்விதி பொருந்துகிறது. எடுத்துக்காட்டாக முறுக்கி யுள்ள கெடிகாரவில் (Watch Spring), பிரிக்கப்பட்ட கெடிகார வில்லைவிட அதிக பொருண்மை உடையதாக இருத்தல்வேண்டும். விரைவாகச் சுழலும் இயக்கும்சக்கரம் (flywheel)த்தின் பொருண்மை, அதே சக்கரம் அசையாநிலையில் இருக்கும்போது அதற்கிருக்கும் பொருண்மையைவிட அதிகமாக இருக்கும். கதிர் வீச்சை உமிழும் பொருளின் பொருண்மை குறையவும், கதிர் வீச்சை உட்கவரும் பொருளின் பொருண்மை அதிகரிக்கவும் வேண்டும். இவைகள் எல்லாம் தொன்மைக் கருத்துகளின்படி ஏற்றுக்கொள்ளத் தக்கன அல்ல. என்றாலும் $m = \frac{W}{c^2}$ என்பதி லுள்ள c-ன் மதிப்பு மிக அதிகம் ஆகையால் சாதாரணச் சூழ் நிலைகளில் பொருண்மையில் ஏற்படும் மாற்றம் தள்ளிவிடத் தக்க அளவு மிகக் குறைவே ஆகும். இத் தொடர்பினை நேரடிச் செய்முறைகள் மூலம் ஆரம்ப நிலையிலேயே ஏன் கண்டுபிடிக்க முடியாமற்போயிற்று என்பதை இது விளக்குகிறது. $W = mc^2$ என்பதில் c^2 வருவதால் பொருண்மையில் ஏற்படும் சிறு குறைவும் மிகப் பெரிய அளவு ஆற்றலுக்குச் சமம் என்பதும் தெரிகிறது.

(a) ஒரு எலெக்ட்ரானின் இயக்காநிலைப் பொருண்மையாகிய m_0க்குச் சமமான ஆற்றலின் அளவினைப் பின்வருமாறு மதிப் பிடலாம்.

$$W = m_0c^2 = 9.028 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^{10})^2 \text{ எர்க்குகள்}$$

ஆனால் ஒரு எர்க் $= \frac{300}{e}$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட்

∴ W என்பதை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்களில் கூறினால்

$$W = \frac{300 \times 9.028 \times 10^{-28} \times 9 \times 10^{20}}{4.767 \times 10^{-10}}$$

W என்பதை மில்லியன் எலெக்ட்ரான் வோல்ட்களில் கூறினால்

$$W = \frac{300 \times 9.028 \times 10^{-28} \times 9 \times 10^{20}}{4 \times 767 \times 10^{-10} \times 10^{6}}$$

$= 0{\cdot}5107$ மி. எ. வோல்ட்டுகள்.

இது எலெக்ட்ரானின் சுய ஆற்றல் (self energy) எனப்படும்.

(b) ஒரு நிறை அலகினுக்குச் (Mass unit) சமமான ஆற்றலின் அளவு :

$W = 1{\cdot}646 \times 10^{-24} \times (3 \times 10^{10})^2$ எர்க்குகள்

$= \frac{300}{e} \times 1{\cdot}646 \times 10^{-24} \times 9 \times 10^{20}$ எ.வோ.

$= 931$ மி. எ. வோல்ட்.

(c) ஒரு கிராம் பருப் பொருளுக்குச் சமமான ஆற்றலின் அளவு

$W = 1 \times 9 \times 10^{20}$ எர்க்குகள்

$= \frac{300}{e} \times 9 \times 10^{20}$ எ. வோ.

$= 6 \times 10^{26}$ மி. எ. வோ.

எந்தப் பருப் பொருளாயினும் அதன் ஒரு கிராம் உண்மையில் ஒரு ஆற்றல் கிடங்கு (store house) ஆக இருக்கிறது.

$W = mc^2$ என்னுந் தொடர்பில் m-க்குப் பதிலாக,

$$\frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

என்பதை இட்டு விரிவாக்க,

$$W = m_0c^2 + \tfrac{1}{2} m_0v^2 + \tfrac{3}{8} m_0 \frac{v^4}{c^2} + \ldots\ldots\ldots$$

m_0c^2 என்னும் முதல் உறுப்பு அசையா நிலைப் பொருண்மை (m_0)-க்குரிய ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. அதாவது உள்ளே தேங்கிக் கிடக்கும் ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. மற்ற உறுப்புகள் இயக்கத்தால் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலைக் குறிக்கின்றன. v-ன் மிகக் குறைந்த மதிப்புகளுக்கு $\frac{1}{2} m_0v^2$-ஐ விட அதிக மடி கொண்ட (higher powers) உறுப்புகளைத் தள்ளிவிடலாம். அப்போது சார்பிய

லின்படி வருகின்ற இயக்க ஆற்றலுடன் தொன்மை விசையியலின்படிக் கிடைக்கின்ற இயக்க ஆற்றலுடன் ஒப்ப இருக்கிறது. எனவே v-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும் போதுதான் சார்பியல் கொள்கை முக்கியமான ஒன்ருக இருக்கிறது.

(ii) பொருண்மை-ஆற்றல் முடிவினை செய்முறைகொண்டு மெய்ப்பித்தல் (Experimental verification of the mass-energy relation):

இவ்வுண்மை எல்லா வகையான ஆற்றல்களைப் பொறுத்தும் மெய்ப்பிக்கப் பட்டுள்ளது என்பதில் பொருண்மை—ஆற்றல் தொடர்பின் பெருமை அடங்கியுள்ளது. இதன் வழியே இத் தொடர்பின் தாயாகிய சார்பியல் கொள்கையின் பெருமை விளங்குகிறது. ஆகவே செய்முறைகளைக் கொண்டு எவ்வாறு இத் தொடர்பினை ஆய்ந்து அறிவது என்பதைக் காண்போம்.

(a) நிலை ஆற்றல் (Potential energy):

நிலையாற்றலைப் பொறுத்தவரை இத் தொடர்பு அணுக் கருவில் விளையும் மாற்றங்கள் மூலம் (nuclear transformations) மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது. செயற்கைத் தனிம மாற்றங்களில் (artificial transmutations) பயன்படும் சமன்பாட்டில் வழக்கமான ஆற்றல் மாற்றங்களுடன் பொருண்மை—ஆற்றலாக மாறுகின்ற மாற்றங்களையும் நுழைத்துக் கணக்கிட்டார்கள். இவ்வாறு செய்ததனுல் சோதனைகளின் மூலம் திட்பமாக அறியப்பட்ட அணுக்கரு மாற்றங்களுக்குப் போதிய விளக்கம் கிடைத்ததுடன் என்னென்ன மாற்றங்கள் மேலும் விளையக் கூடும் என்பதைச் சரியாக யூகிக்கவும் முடிந்தது. பொருண்மையை ஆற்றலாக மாற்றலாம் என்பதற்கு அணு குண்டு ஒரு அண்மைக்கால எடுத்துக்காட்டு ஆகும். யூரேனியம் போன்ற கனமான தனிமங்களின் அணுக் கருவினைப் பிளந்து அதன் மூலம் அளவில்லா ஆற்றலை விடுவிப்பதுதான் அணுகுண்டின் அடிப்படைக் கோட்பாடாகும். இச் செயல் $E = mc^2$ என்னும் தொடர்புக்கு ஏற்ப நடைபெறுகிறது என்று காட்டலாம். இது போன்ற பல எடுத்துக்காட்டுகளைப் பின் வரும் அத்தியாயங்களில் பார்ப்போம். ஐசோடோப்புக்களின் உண்மை உண்மைப் பொருண்மையைக் கணக்கிட்டபோது அவை முழு எண்களாக இல்லாமை காணப்பட்டது. பொருண்மைக் குறை (mass defect) என்று கூறப்படுகின்ற இவ்வேறுபாட்டிற்குக் காரணம், அணுக் கருவின் அடிப்படை உறுப்புகள் சேர்ந்து அணுக் கருவை உருவாக்கும் போது அவை உட்கவரும் அல்லது வெளியிடும் ஆற்றல் காரணமாகத்தான் பொருண்மைக் குறை உண்டாகிறது. இந்த நவீன விளக்கம் எல்லோராலும் ஒப்புக்

கொள்ளப்பட்ட ஒன்ருகும். எடுத்துக்காட்டாக ஹீலியம் (Helium) அணுக் கருவில் இரண்டு புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான் களும் இருக்கின்றன. ஹீலியம் அணுக்கரு, புரோட்டான், நியூட் ரான் இவைகளின் பொருண்மைகளை நிறை நிறமாலை வரைவி யைக் (mass pectrograph) கொண்டோ அல்லது வேறு தக்க முறை களைக் கொண்டோ கண்டறியலாம். அவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப் பட்ட பொருண்மைகளை முறையே M, m_p மற்றும் m_n எனக் கொள் வோம். நிறையின் அழிவின்மை (conservation of mass) என்ற கோட்பாடினுக் கேற்ப $M = 2(m_p + m_n)$ என்ருக வேண்டும். ஆனல் உண்மையில் $M < 2(m_p + m_n)$ ஆக இருப்பது கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவைகளுக்கிடையே உள்ள வேறு பாட்டிற்குத்தான் நிறை குறை (mass defect) என்று பெயர். எனவே ஹீலியம் அணுக்கரு உருவாகும்போது குறிப்பிட்ட பொருண்மை மறைகிறது. மேலும் இப்படி அணுக் கரு உருவாகும் போது 28 மி.எ.வோல்ட் அளவுள்ள ஆற்றல் விடுவிக்கப்படு கிறது என்பதும் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த ஆற்றலை, நிறை ஆற்றல் தொடர்பினை உபயோகித்து நிறையாக மாற் றினல் அது நிறைமக் குறைக்குச் சமமாக இருப்பதைக் காண் கிரேம். அணுப் பொருண்மை, மற்றும் அணுக் கரு மாற்றங்கள் பற்றிய திட்பமான செய்முறைக் குறிப்புகளின் உதவியால் இது போன்ற பல திட்பமான எடுத்துக்காட்டுகளைக் கூறமுடியும்.

(b) **இயக்க ஆற்றல்** (Kinetic energy) :

இத்தகைய ஆற்றல் பற்றிய செய்முறைத் தெளிவு மறைமுக வழியில் செய்யப்படுகிறது. வேகத்தால் பொருண்மை மாறுகின்ற தென்னும் விதி, பொருண்மை-ஆற்றல் தொடர்பிலிருந்து பெறப் பட்ட ஒன்ருகும். அதாவது,

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

இது மெய்ப்பிக்கப்பட்டுவிட்டால் இதற்குக் காரணமான பொருண்மை - ஆற்றல் தொடர்பு மெய்ப்பிக்கப்பட்டதாகக் கொள்ளலாம். ஒளியின் வேக அளவுக்கு வேகமுள்ள பொருட் களைக் கொண்டுதான் இவ் விதியைச் சோதிக்க இயலும் என்பது எல்லோரும் அறிந்த ஒன்றே. அப்படிப்பட்ட பொருட்கள் கதிரியக்கப் பொருட்களால் (radio active substances) உமிழப் படும், அதிக வேகமுடைய β துகள்களைக் கொண்டு பெறப்படு கின்றன.

ரேடியத்தில் (radium) இருந்து கிடைத்த 0·99C அளவுள்ள அதிக வேகமுடைய β துகள்களைக் காஃப்மண் (kaufmann) மற்றும் புச்சரர் (Buchever) ஆகிய இருவரும் பயன்படுத்தினர். இத் துகள்களை ஒரே சமயத்தில் மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் இவைகளுக்கு ஆட்படுத்தி வெவ்வேறு வேகங் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களின் $\frac{e}{m}$ மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டனர். இதன்மூலம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையில் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று $\frac{m}{m_0}$ என்பது வேகத்தோடு அதிகரிப்பதைக் காட்டினார்கள்.

வேகம் v	$\frac{m}{m_0}$
$2{\cdot}1 \times 10^{10}$ செ.மீ/செ.	1·4
$2{\cdot}7 \times 10^{10}$ செ.மீ/செ.	2·29
$2{\cdot}94 \times 10^{10}$ செ.மீ/செ.	5·02

நிறமாலைக் கோடுகளின் நுட்பமான அமைப்பு (fine structure) சாமர்ஃபீல்ட் (Sommerfeld) தந்த விளக்கம் போன்ற நிறமாலை ஆய்வுகளின் மூலமும் பொருண்மைச் சார்பியல் மாற்றங்கள் மிக மிகத் திட்பமாக உறுதி செய்யப்பட்டுள்ளன.

(c) **கதிர் வீச்சு ஆற்றல்** (Radiant energy) :

ஆற்றலைப் பொருளாக்கல் (materialisation) என்றழைக்கப்படும் ஒரு நிகழ்ச்சியில் இவ்வகை ஆற்றலுக்கான பொருண்மை-ஆற்றல் சமநிலையினைக் காணலாம். தக்க சூழ்நிலையில் காஸ்மிக் கதிர்கள் γ கதிர்கள் போன்ற அதிக ஆற்றல் உள்ள கதிர் வீச்சுகள் பொருட்களால் உட்கவரப்படும்போது பொருட் துகள்களை உண்டாக்குகின்றன. காஸ்மிக் கதிர் பொழிவுகள் (cosmic ray showers) மூலம் தெளிவாக்கப்பட்டுள்ள எலெக்ட்ரான் -பாசிட்ரான் இணைகளை (electron-positron pairs) இவ்வாறு உண்டாக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான் இணைகளின் இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிட்டால் அவைகளின் கூடுதல் பொருட்களின்மேல் படுகின்ற கதிர் வீச்சின் ஆற்றல் அளவைவிட 1 மி.எ.வோல்ட் குறைவாகக் காணப்படுகிறது. மேலும் படுகின்ற கதிர் வீச்சின் ஆற்றல் 1 மி.எ.வோல்ட் அளவைவிட அதிகமாக இருக்கும்போது மட்டுமே இத்தகைய நிகழ்ச்சி ஏற்படுகிறது. ஆற்றல் இந்த

அளவுக்குக் குறைவாக இருந்தால் இந் நிகழ்ச்சி ஏற்படுவதே இல்லை. எலெக்ட்ரான் மற்றும் பாசிட்ரான் இவைகளுக்குரிய அசையா நிலைப் பொருண்மைகளை (இரண்டிற்கும் பொருண்மை சம அளவில் இருக்கும்) பொருண்மை ஆற்றல் தொடர்பின்மூலம் பெறலாம். அவ்வாறு கணக்கிட்டபோது அப் பொருண்மை இம் முறையில் மறைந்த ஒரு மி.எ. வோல்ட்டுக்குச் சமமாக இருந்தது. செய்முறையில் கண்ட இவ்வுண்மைகள் இந் நிகழ்ச்சி கதிர்வீச்சு ஆற்றலைப் பொருண்மை ஆக்குகிறது என்று விளக்கி அதன் வழியே ஆற்றலைப் பொருளாக்க இயலும் என்பதை நிலை நிறுத்தியதுடன் பொருண்மை-ஆற்றல் தொடர்பின் தகுதியையும் ஒப்புக்கொள்ளச் செய்தன. மேற் கூறிய நிகழ்ச்சிக்கு எதிரிடையான 'பொருளை அழித்தல்' (annihilation of matter) என்னும் முறையில் எலெக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் பொருட்துகள்களாக அழிந்து கதிர் வீச்சு ஆற்றலை உண்டாக்கும் பொருட்டு இணைகின்றன. இதுவும் நடைமுறையில் காணப்பட்டுள்ளது. இந் நிகழ்ச்சியும் பொருண்மை ஆற்றல் தொடர்பிற்கு ஒப்பவே நடைபெறுகிறது.

(d) **மின்காந்த ஆற்றல்** (Electro magnetic energy):

நாம் முன்னரே வேறொரு இடத்தில் குறிப்பிட்டுள்ளவாறு ஜே. ஜே. தாம்சன் என்பார் இயங்கும் எலெக்ட்ரான் அதனிடம் உள்ள மின்னூட்டங் காரணமாகவே ஒரு பொருண்மையைப் பெறுகிறதென முதுபழம் மின்காந்தக் கொள்கை (classical electro-magnetic theory)யின் மூலம் நிலைநாட்டியுள்ளார். இப்போது இயங்கும் எலெக்ட்ரான் தன்னுடன் மின்காந்த ஆற்றலையும் கொண்டிருப்பதால் பின்னர்க் குறிப்பிட்ட ஆற்றல் ஒரு பொருண்மைக்குச் சமமாக இருக்கும் என்று முடிவு செய்யலாம்.

இவ்வாறு சார்புக் கொள்கையின் பயனாக விளைந்த பொருண்மை—ஆற்றல் தொடர்பு எல்லா வகை ஆற்றல்களுக்கும் பொருந்துமென மெய்ப்பிக்கப்பட்டுவிட்டது. இத் தொடர்பின் முக்கியத்துவம் உலகம் அறிந்த ஒன்று. இது பல்வேறு துறைகளிலும் பரவலாகப் பயன்படக்கூடிய ஒன்று.

பொதுச்சார்பியல்
(General Relativity)

இதுபற்றிய விரிவான விளக்கம் இப் புத்தகத்தின் நோக்கிற்கு அப்பாற்பட்டது. எனவே இதுபற்றி பொதுவான முறையில், முக்கியமான சில பண்புகளைப்பற்றி மிகச் சுருக்கமாகக் கூறுவதுடன் அமைவோம்.

வரையறுக்கப்பட்ட சார்பியல் சீராக நேர்க்கோட்டில் இயங்கும் சடத்துவ அமைப்பு (inertial systems)களைப் பற்றி விளக்குகிறது. ஒரு விசைக்கு ஆட்படாத பொருள் அசையாமலோ அல்லது முன் பிருந்த சீரான வேகத்திலிருந்து மாறுமல் இயங்கிக்கொண்டோ இருக்கும் என்னும் சடத்துவ விதி (Law of inertia)க்கு கட்டுப் படும் அமைப்புகள் சடத்துவ அமைப்புகள் எனப்படுகின்றன. எவ்வகை இயக்கங்கொண்ட அமைப்புக்கும், ஏன் முடுக்கப்பட்ட திசை வேகங்கொண்ட (accelerated velocity) அமைப்புக்குங்கூட சார்பியல் கொள்கையை விரிவுபடுத்தவேண்டுமென்று ஐன்ஸ்டீன் நினைத்தார். அதிலும் குறிப்பாக ஒரு தனி வகை முடுக்கங் கொண்ட புவியீர்ப்பு பற்றிய நிகழ்ச்சிக்கு (gravitation) சார்பியலை விரிவுபடுத்த விரும்பினர். தொன்மை விசையியல்படி, சீரான இயக்கமுள்ள பொருள்களுக்கும், முடுக்கப்பட்ட இயக்கமுள்ள பொருள்களுக்கும் உள்ள வேறுபாடு பின்னுல் கூறியுள்ள இயக்க வகையில் சடத்துவ விசைகள் (forces of inertia) பங்கு கொள் கின்றன என்பதே ஆகும். ஒரு பொருள் திடீரென கிளப்பப் பட்டாலோ அல்லது நிறுத்தப்பட்டாலோ ஒரு உலுக்கல் ஏற்படு கிறது சடத்துவம் காரணமாக அசையாதிருக்கும் பொருள்கள் அசையாதிருக்கவே முயல்கின்றன. அதுபோலவே சீராக இயங்கிக்கொண்டிருக்கும் பொருள் அதே சீரான இயக்கத்துடன் இயங்கிக்கொண்டிருக்கவே முயல்கிறது. அவை இருக்கும் நிலை களுக்கு ஏற்படும் மாற்றங்களை அவை எதிர்க்கின்றன. இவ்வாறே சுழற்சியினுல் ஏற்படும் மைய விலக்கு விசை (centri fugal force) யும் ஒரு சடத்துவ விசையே ஆகும். இத்தகைய சடத்துவ விசைகள் செயல்படும் அமைப்புகளில், அவைகளில் செய்யப் படும் செய்முறைகளை வைத்தே அவற்றின் இயக்கத்தை அறிதல் கூடும். எனவே முடுக்கம் (acceleration) என்பது சார்பற்ற இயக்கம் (absolute motion) எனக் கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனுல் ஐன்ஸ்டீன் தன்னுடைய சார்பியல் கோட்பாட்டினை முடுக்கப் பட்ட அமைப்புகளுக்கும் (accelerated systems) விரிவுபடுத்திய தால் முடுக்கம் என்பதனைச் சார்பற்றது என்று எண்ணுவதற்கு இடமில்லாமல் போய்விட்டது.

புவியீர்ப்பு முடுக்கம் (acceleration due to gravity) என்னும் குறிப்பிட்ட ஒருவகை முடுக்கத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இதற்கு தொன்மைக் கருத்துகள் தொலைவில் செயல்படல் (action at a distance) என்ற ஒன்றை முன்னதாகவே கற்பித்துக்கொண்டு பின்னர் பொருள்களுக்கிடையே ஈர்ப்பு விசை என்னும் அடிக் கோளை ஏற்படுத்திக் கொள்கின்றன. இது ஈர்ப்புப்புலம் (gravi- tational field) என்னும் சீரான விசைப்புலம் (field of force) ஒன்று

ஒரு பொருண்மையைச் சுற்றி நிலையாக அமைந்திருக்கிறது என்ற முடிவுக்குக் கொண்டு செல்கிறது. இப் புலம் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் என்னும் சீரான முடுக்கத்தை அதன்மேல் அமைந்துள்ள எல்லாப் பொருள்களுக்குந் தருகிறது. கதிரவன் தனது கோள்களை ஈர்ப்பது போன்று இந்த ஈர்ப்பு விசை பொருளற்ற வெற்றிடத்தின் வழியேயும் வலிப்பதால் பொருண்மை தொலைவிலும் செயல்படுவ தாகத் தெரிகிறது. ஈதர் என்ற ஒன்றைப் புனைந்துகொண்ட பின்னர் தொலைவில் செயல்படல் என்னும் குறை ஓரளவு நீங்கி யதே தவிர முழுதுமாக நீங்கவில்லை. ஏனெனில் ஈதர் என்ற புனைவு எளிதில் விளக்கமுடியாத சில சங்கடங்களையும் தன்னுடன் கூட்டி வந்துவிட்டது. பொது சார்பியல் ஈர்ப்பு என்னும் இந் நிகழ்ச்சிக்குப் புது விளக்கம் கொடுத்து 'தொலைவில் செயல்படல்' என்பதையே கண்காணுமற் போகச் செய்துவிட்டது.

தக்க ஒரு குறிப்பு அமைப்பினைத் தேர்ந்தெடுப்பதன் மூலம் ஒரு நோக்குநர் ஈர்ப்புப் புலம் என்ற ஒன்றின் இருப்பை அறியா திருக்கக் கூடிய வாய்ப்பு இருப்பதால், ஈர்ப்புப் புலம் என்பதே செயற்கையான ஒன்று என ஐன்ஸ்டீன் வாதிட்டார். எடுத்துக் காட்டாகக் கயிற்றின் முனை ஒன்றில் கட்டப்பட்டுச் சுழற்றப்பட்ட கல் ஒன்று வட்டமாக வளைந்த பாதையில் நகர்வதாக வைத்துக் கொள்வோம். மைய நாடு விசை (centripetal force) என்னும் ஒரு இழுப்பு (tension) கயிற்றில் ஏற்படுகிறது என அறிவோம். அக் கல்லில் இருக்கும் நோக்குநர் மையம் நாடு விசைக்குச் சமமான ஆனல் எதிரான மைய விலக்குவிசை (centrifugal force) என்னும் எதிர் விசையை உணர்கிறர். ஆனல் கல்லைச் சுழற்றுபவர் அத் தகைய எதிர் விசையை உணர்வதில்லை. இவ்வாறு தோன்று கின்ற எதிர்விசை கல் வளைவுப் பாதையில் செல்வதால் ஏற்படு கின்ற ஒன்று என எண்ணினர். ஈர்ப்பு விசையை விளக்கும் நோக்கத்துடன் வளைகோட்டு இயக்கம் (curvilinear motion) என்னும் கருத்தை வளைவு வெளி (curved space) என மேலும் விரித்தார்.

பின்னர் இவ் வுண்மையைச் சமநிலைக் கோட்பாடாகப் பொது மைப்படுத்தினர். இக் கோட்பாட்டின்படி ஈர்ப்புப் புலத்தின் விளைவுகளும் ஈர்ப்பு ஆற்றலிலிருந்து விடுபட்டு, வெளியில் இயங்கும் குறிப்பு அமைப்பின் சீரான முடுக்கத்தினல் ஏற்படும் விளைவுகளும் எல்லா வகையிலும் ஒன்றே. மேலே குறிப்பிட்ட முடுக்கம் ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு உரியதாகக் கூறப்படும் முடுக்கத் திற்குச் சமமாகவும் ஆனல் எதிராகவும் இருக்கும். இந்தச் சம நிலைக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் கணிதவியல் முறையில்

ஈர்ப்பு விதியொன்றை ஐன்ஸ்டீன் உண்டாக்கினார். இது நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதியைவிட மிகவும் திட்பமுடையது. இப் புதிய சார்பியல் விதியைப் பெற 'டென்சார் கால்குலஸ்' (tensor calculus) என்னுங் கணிதவியல் பற்றிய நுட்பமான அறிவு தேவை. இருப்பினும் இச் சிக்கல் எம்முறையில் தீர்க்கப்பட்டதோ அதைப் பண்பு ரீதியில் குறிப்பிடுவோம்.

வரையறுக்கப்பட்ட சார்பியல் கோட்பாடுகளையும் ரீமென் (Reimann) என்பவரின் நாப்பரிமாண வடிவியலையும் (four dimensional geometry) பயன்படுத்தி 1908-ல் மின் கோவ்ஸ்கி (Minkowski) என்பார் நாப்பரிமாண வெளி-காலத் தொடர்பம் (four-dimensional space-time continuum) என்பதைப் பெற்றார். இது

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + c^2 dt^2$$

என்ற எண் வடிவில் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதிலிருந்து ds என்னும் ஒரு நிகழ்ச்சியை dx, dy, dz என்ற மூன்று அளவுகளை மட்டும் கொண்டு தொன்மையான எக்ளுடியன் வடிவியல் முறையினைப் போல (euclidean geometry) முழுமையாகக் குறிக்க இயலாது. அதை முழுமையாகக் குறிக்க dt என்னும் கால அளவும் வேண்டும். இக் கால அளவு சார்பியல் வடிவியலில் (relativistic geometry) நான்காவது ஆயத் தொலைவு (coordinate) ஆகும். ds என்பது ஒரு புள்ளி நிகழ்ச்சி (point event) எனப்படும். இது வெளியில் (space) உள்ள ஒரு தூரமன்று. இது மின் கோவ்ஸ்கியின் வெளி-காலத் தொடர்பத்தில் (space-time continuum) ஒரு அடிப்படைக் கூறுகும். இப் புதுக் கருத்துப்படி வெளி, காலம் என தனித்தனி உண்மைகளாகக் கருதப்பட்டவை மாறி அவற்றின் இரண்டறக் கலந்த தன்மையே தனித்து நிற்கும் என்னும் உண்மைநிலை நிறுத்தப்பட்டது. அண்டம் (universe) என்பது அத்தகைய வெளி-காலத் தொடர்பம் என்றே கருதப்படுகிறது. இது எக்ளுடியன் அமைப்பு கொண்டது அன்று. இது வரையறுக்கப்பட்ட ஒன்று ஆனால் எல்லையற்றிருப்பது. நாப்பரிமாண வெளி காலத் தொடர்பமாகிய இவ்வுலகின் வளைவினைப் பொருளின் அழுத்தம் இப்போது உருக்குலைக்கிறது. இத் தற்கோளின் அடிப்படையில் உருச் சிதைந்த வளைந்த வெளி-காலத் தொடர்பத்தில் ஒரு பொருளின் இயக்கத்தைக் கணிக்கும் விதியை ஆய்ந்து சார்பியல் ஈர்ப்பு விதியை உண்டாக்கினார். நியூட்டனின் இருமடி எதிர் விகிதவிதி (inverse square law) என்பது சார்பியல் விதியின் முதல் நிலைத் தோராயமே (first approximation) என அவர் காட்டினார். புதன் (mercury) என்னும் கோளின் கதிரவனை நெருங்குமிடம் (perihelion) முன்னேறி வருவது, அழல் மின் துணை

வனிடமிருந்து (companion of sirius) வந்த ஒளியில் காணப்பட்ட நிறமாலை வரிகள் முதலிய வான் பௌதிக (astrophysical) நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிய செய்முறைச் சோதனைகள் இதன் சிறப்பினை நிலை நாட்டின.

கதிர்வீச்சு பற்றிய குவான்டக் கொள்கை
(Quantum Theory of Radiation)

கதிர்வீச்சுப் பற்றிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கை 1901-ல் கருமைப்பொருள் கதிர்வீச்சு (black body radiation) சம்பந்தமாக மாக்ஸ்-பிளாங் (Max-Planck) என்பவரால் முதலில் கூறப்பட்டது. பின்னர் 1905-ல் பழைய அலைக்கொள்கை (Wave Theory) யிலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்ட வகையில் எல்லா வகைக் கதிர்வீச்சுகளையும் பற்றிய புதுக் கருத்துடன் ஐன்ஸ்டீனால் செம்மையான வாய்பாடாக்கப்பட்டது. அதுமுதல் இக் கொள்கை நவீன ஆராய்ச்சிகளின் அரணாகக் கருதப்பட்டு வருகிறது. அணுப் பௌதிகத்தின் அடிப்படைக் கருத்துகளில் ஒன்றாக இருக்கிறது.


பேராசிரியர் மாக்ஸ்-பிளாங்க்

விஞ்ஞான ஆய்வுகளின் மூலம் எல்லாப் பருப்பொருள்களும் சிறு துகள்களால் ஆகியவை என்பதோடு, புதிரான ஆற்றல் கூறு ஒன்றையும் பெற்றிருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவ்வாற்றலைப் பொருளின் கூட்டிலிருந்து விடுவிக்க இயலும். அவ்வாறு விடுவிக்கப்பட்டால் அது கதிர்வீச்சு ஆற்றலாக வெளியில் பரவுகிறது. இக் கதிர்வீச்சு மின்காந்த ஹெட்டீசியன் அலைகள் (Electromagnetic Heartizion waves) அகச் சிவப்பு (infra red), கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளி (visible light) புறஊதா (ultra violet), எக்ஸ்-கதிர்கள், γ கதிர்கள் போன்ற பலவகையாகத் தோன்றுகிறது. ஆனால் இவை அத்தனையும் ஒரே தன்மை கொண்டிருக்கின்றன. வெற்றிடத்தில் ஒரே வேகத்துடன் செல்கின்றன. குவான்டக் கொள்கை (Quantum theory)ப்படி ஒரு அமைப்பின் கதிர்வீச்சு ஆற்றல்

அல்லது இரு அமைப்புகளிடையே நிகழும் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் பரிமாற்றம் அலைக் கொள்கையில் உள்ளது போன்று எல்லா மதிப்புகளையும் கொண்டுள்ள ஆற்றலை அனுமதித்துத் தொடர்ந்து நடைபெறுவதில்லை. ஆனால் தனித்தனியான, நன்கு வரை யறுக்கப்பட்ட அமைப்புடைய அடிப்படை ஆற்றல் முடிச்சுக்கூறு ஒன்றின் முழு எண் மடங்குகளாகவே நடைபெறுகிறது. இதி லிருந்து பொருளைப்போலவே ஆற்றலும் அணு அமைப்பு உடைய தெனக் கொள்ளவேண்டுமென்று தெரிகிறது.

சார்பியல் கொள்கை பற்றி கூறியபோது, ஒளி அலைகளுக்கு ஆதாரமான ஈதர் பௌதிக நிகழ்ச்சிகளை விளக்குவதற்குப் பயனற்ற ஒன்று நீக்கிய நேரத்தில் ஒளியைப் பொறுத்த அளவில் ஐன்ஸ்டீன் இக் கருத்தினை ஒப்புக்கொள்ளவேண்டி வந்தது என்பதை நாம் முன்னரே கண்டோம்.

ஒளிபற்றிய முதுபழங் கோள்கைகள் (Classical Theories of light) :

ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையை உண்டாக்கவேண்டிய அவசியம் ஏன் ஏற்பட்டது என்பதை நாம் நன்கு புரிந்துகொள் வதற்கான வரலாற்றுச் சூழ்நிலையைப் பெறும் பொருட்டு முதலில் ஒளிபற்றிய பல்வேறு தொன்மை கொள்கைகளைத் தொகுத்துக் கூறுவோம்.

கதிர்வீச்சின் இயல்பு பற்றிய ஆய்வுகள் முதலில் கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளியைப் பற்றியே செய்யப்பட்டன. வெற்றிடமாய்த் தோன்றும் விசும்பின் வழியே கதிரவனிடமிருந்தும் விண் மீன்க ளிடமிருந்தும் ஒளி எப்படி நம்மிடம் வருகிறது என்னுங் கேள்வி பண்டைய கிரேக்கர்களாலும் கேட்கப்பட்ட ஒன்றாகும்.

பழைய நுண்ணிமக் கொள்கை: (Corpuscular Theory) ஒளியின் தோற்றுவாய்கள் (Sources) விரைந்து செல்லக்கூடிய நுண்ணிய துகள்களை அல்லது நுண்ணிமங்களை வீசுகின்றன என்றும் அத்தகைய நுண்ணிமங்கள் கண் வழிப்புகுந்து பார்வை என்னும் உணர்வை உண்டாக்குகின்றன என்றும் நியூட்டனால் ஆதரிக்கப்பட்ட நுண்ணிமக் கொள்கை கூறியது. இக் கொள்கை யைக் கொண்டு ஒளியின் திசைவிலக்கம் குறுக்கீட்டு வளைவு (interference) விளிம்பில் விலகல் (diffraction) மற்றும் முனை கொள்ளல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளுக்கு விளக்கந்தர இயலவில்லை. எனவே 18ஆம் நூற்றாண்டில் முதலில் ஹைஜீன் (Hyghens) மற்றும் எங் (Young) என்பவர்களால் கூறப்பட்டுப் பின்னர் ஃப்ரனல் (Fresnel) என்பவரால் செம்மைப்படுத்தப்பட்டு 19ஆம் நூற்றாண்டின் துவக்கத்தில் ஒப்புக் கொள்ளப்பட்ட அலைக்

கொள்கை (Wave Theory) அதன் இடத்தைப் பிடித்துக் கொண்டது.

ஒளியைப் பற்றிய அலைக் கொள்கை (Wave Theory of light) :

இக் கொள்கையின்படி ஒளி என்பது எங்கும் சீராகப் பரவி யுள்ள ஈதரில் ஏற்படும் கலக்கமே ஆகும். ஒளி ஓரிடத்திலிருந்து மற்றொரு இடத்திற்குப் பரவும்போது ஈதர் என்னும் ஊடகத்தின் துகள்கள் ஒளி செல்லும் திசைக்கு குறுக்காக அதிர்கின்றன. அதன் காரணமாக விளையும் கலக்கம் அல்லது ஆற்றல் (disturbance of energy) குறுக்கு அலை இயக்கமாகப் (transverse wave motion) பரவுகிறது. இந்த அடிப்படைக் கருத்தில் பௌதிக நிகழ்ச்சி களான. ஒளியின் நேர்க்கோட்டுச் செலவு (Rectniliear propagation) முறிவு, குறுக்கீடு, விளம்பில் விலகல் மற்றும் முனைவு கொள்ளல் (polarisation) ஆகியவற்றிற்கு ஏற்ற விளக்கந் தரப் பட்டது. ஆனால் விரைவிலேயே அவ்வூடகத்தின் இயல்பு பற்றிய இடர்ப்பாடொன்று எழுந்தது. ஒளியின் மிக அதிக வேகத்திற்கு (3×10^{10} செ.க/செ.மீ) ஏற்ற விளக்கம் தரும் பொருட்டு, இருக் கின்ற வாயுக்கள் அனைத்திலும் இலேசானதைவிட ஈதர் இலே சானது என்று கூறப்பட்டது. ஆனால் அதே நேரத்தில் ஒளியின் குறுக்கு அலைப் பண்பிற்கு விளக்கந் தரவேண்டி ஈதர் என்பது நெகிழுந்தன்மை கொண்ட உறுதியான திண் பொருள் (rigid elastic solid) என்றும் கூறப்பட்டது. இந் நிலையில்தான் மாக்ஸ்வல் என்பார் புகழ்மிக்க மின்காந்த அலைக் கொள்கையைக் (Electro magnetic wave Theory) கூறினார். இக் கொள்கை மேற்கூறிய தொல்லைகளைப் பெருமளவு தீர்த்த தோடன்றி பல்வேறு விதமான கதிர்வீச்சுகளையும் ஒன்ருக்கும் பெரும் பணியையும் செய்தது.

ஒளியின் மின்காந்த அலைக் கொள்கை (Electro magnetic Theory) :

மின்காந்தப் புலத்தில் (electromagnetic field) செய்த ஆய்வு களின் விளைவாக 1864-ல் மாக்ஸ்வல் ஒளிபற்றிய மின்காந்த அலைக் கொள்கையை வெளியிட்டார். இக் கொள்கையின்படி அடிக்கடி விரைவாகத் திசை மாறுகின்ற "இடப் பெயர்ச்சி மின் னோட்டம்" (displacement current) ஊடகத்தில் உண்டாக்கும் விளைவுகளே ஒளியாகும். மேற்கூறிய இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட் டத்தின் காந்த விளைவுகள் கடத்தல் மின்னோட்டத்தின் (Conduction current) காந்த விளைவுகள் போன்றதே ஆகும். மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் என்னும் இரு புலங்களும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்றைப் பிரிக்க இயலாதவாறு அமைந்திருக்கின்றன. ஒன்று மாற்றம் அடைந்தால் மற்றதும் அதே விகிதத்தில் மாற்றம் அடை

கிறது. ஒன்றில் ஏற்படும் மாற்றம் மற்றதில் மாற்றத்தை ஏற்படுத்து கிறது. இவ்வாறு இவ்விரு புலங்களும் ஒன்றை ஒன்று குறிப்பிட்ட வேகத்தில் முன் தள்ளிச் செல்லுகின்றன. இவை செல்லும் வேகம் ஒளியின் வேகமே ஆகும்.



மாக்ஸ்வல்

ஈதரைப் பற்றி அறிவதற்குச் செய்யப்பட்ட செய்முறைகள் யாவும் தோல்வி கண்டதால் இன்றைய விஞ்ஞானிகளில் பலர் ஈதர் என்பது மின்காந்த அலைகளை ஏற்றுச் செல்லும் ஒன்று என்ற கருத்தைக்கூட விட்டுவிட்டு "நிகழ்திற அலைகளை"க் (Waves of probability) கொண்டு மின்காந்த அலைகளை விளக்க முற்பட்டனர். இது பற்றி நாம் பின்னர் காண்போம். ஈதர் ஊடகத்தினைப் பற்றிய முடிவு எவ்வாறோ போகட்டும். ஒளியியல் மற்றும் மின்னியல் (optical and electrical) நிகழ்ச்சிகளுக்கிடையே அரியதோர் ஒற்றுமை கண்ட மாக்ஸ்வலின் கண்டு பிடிப்பு இன்று வரை நிலைத்திருக்கிறது.

மின்காந்தக் கொள்கையின் மற்ற முக்கியமான முடிவுகள்

(Other Important Conclusions electromagnetic Theory)

(a) பல்வேறு வகையான கதிர்வீச்சுகளையும் இணைத்தல் :

ஒரு மின்னேட்டத்தின் (electric charge) ஒழுங்கான இயக்கத்தின் விளைவாக, மின்காந்த அலைகள் உண்டாகின்றன. ஒளி அலைகள், மின்காந்த அலைப்பண்பு கொண்டிருக்கின்றன எனின் அவைகளின் பிறப்பிடம் ஒழுங்கான அசைவுடைய மின்னூட்டமாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஒவ்வொரு தனிமமும் (element) அதற்கென ஒரு தற்சிறப்புடைய (Characteristic) நிறமாலையைப் பெற்றிருக்கிறது என்பதை நிறமாலை ஆய்வுகள் காட்டுகின்றன. இது தனிமத்தின் அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளிலிருந்து உண்டாகின்றன எனக் கொள்ளலாம். இதிலிருந்து அணுக்கள்

மற்றும் மூலக் கூறுகளில் மின்னூட்டங்கள் உள்ளன என்றும் அவைகளின் அதிர்வினால் மின்காந்த அலைகள் உண்டாகின்றன என்னும் நியாயமான முடிவுக்கு வரலாம். இவ்வாறு உண்டாகும் அலைகள் பல்வேறு அளவுகளுள்ள அதிர்வு எண்களை, அல்லது அலைநீளங்களை (இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தின் திசை மாறும் வேகத்தைப் பொறுத்து)க் கொண்டுள்ளது. இது மின்காந்த நிறமாலை யென்னும் நீண்டவொரு தொகுதியாக அடுத்துள்ள அட்டவணையில் காட்டப்பட்டுள்ளது போல அமைந்துள்ளது.

மின்காந்த நிறமாலை

கதிர்கள்	அதிர்வு எண்	அலை நீளம்
காஸ்மிக் கதிர்கள்	$\sim 10^{23}$	$\sim 10^{-11}$ செ.மீ.
γ கதிர்கள்	6×10^{20} முதல் 10^{18}	10^{-10} முதல் 10^{-8} செ.மீ.
X கதிர்கள்	6×10^{19} முதல் 6×10^{15}	10^{-9} முதல் 10^{-5} செ.மீ.
புற ஊதா	2×10^{16} முதல் 8×10^{14}	$1{\cdot}4 \times 10^{-6}$ முதல் 4×10^{-5} செ.மீ.
புலனாகும் ஒளி	8×10^{14} முதல் 4×10^{14}	4×10^{-5} முதல் 8×10^{-5} செ.மீ.
அகச் சிவப்பு	4×10^{14} முதல் 3×10^{11}	8×10^{-5} முதல் $0{\cdot}04$ செ.மீ.
மின் ரேடியோ அலைகள்	10^{13} முதல் 10^{8}	$0{\cdot}01$ செ.மீ. முதல் 100 கி.மீ.

அட்டவணையிலிருந்து ஒரே மின்காந்த அலைகள் அவற்றின் வேறுபட்ட அதிர்வு எண்களையும், அதனால் பெற்ற அலை நீளங்களையும் வைத்து வெவ்வேறு பெயர்களால் அழைக்கப்படுவது தெரிகிறது. காஸ்மிக் கதிரில் மிகக் குறைந்த அலை நீளம் அல்லது மிக அதிகமான அதிர்வு எண் கொண்ட அலைகள் காணப்படுகின்றன. இக் கதிர்கள் எங்கிருந்து உண்டாகின்றன என்பது பற்றிய முழு விவரம் தெரியவில்லை. குறுகிய அலை நீளங்களை அல்லது அதிக அதிர்வு எண்களைக்கொண்ட γ கதிர்கள் கதி

ரியக்க அணுக்களின் தற்சிதைவினுல் உமிழப்படுகின்றன. அடுத்த தாக உள்ள எக்ஸ்-கதிர்கள் விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் பொருட்களின்மேல் மோதுவதால் ஏற்படும் அணு நிகழ்வினுல் (atomic process) உண்டாகின்றன. அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகள் விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் சக்தி வாய்ந்த மோதலுக்கு உள்ளாகும்போது புற ஊதாக் கதிர்கள் தோன்று கின்றன. மனிதனின் கண்ணுக்குப் புலப்படும் ஒளி மின்காந்த நிறமாலையில் ஒரு சிறு பகுதியில் இருக்கிறது. இவ்வொளி அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளின் உள்ளே இருக்கின்ற மின் னூட்டங்களின் அதிர்வுகளால் உண்டாகிறது. மூலக் கூறுகளின் கலக்கத்தால் (agitation) ஏற்படும் அதிக அலை நீளமுடைய அகச் சிவப்புக் கதிர்கள், கண்ணுக்குத் தெரிவதில்லை. அவைகளின் சூடேற்றும் தன்மையை வைத்தே அவைகளை உணர்தல் கூடும். கடைசியில் உள்ள ரேடியோ அலைகள் அலைவு மின்சுற்றுகளின் (oscillatory circuit) உதவிகொண்டு உண்டாக்கப்படுகின்றன. பல்வேறுபட்ட இந்த அலைகளில் அலை நீளங்கள் அல்லது அதிர்வு எண்களில் வரம்பு மீதூர்தல் (overlapping of limits) காணப்படு வதைப் பார்க்கிறோம். எனவே இவ் வலைகளின் பெயர்கள் மிகவும் கண்டிப்பானவை அல்ல. மேலும் இக் கதிர்களெல்லாம் ஒரே வேகத்தோடு செல்கின்றன. இக் கதிர்கள் எல்லாவற்றிலும், ஒன்றுக்கு ஒன்று செங்குத்தாக அமைந்துள்ள மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் ஆகியவை இருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட பல்வேறு அலைகளின் — காணும் அலைகள், காண முடியாத அலைகள், எளிய அலைகள், வலிய அலைகள், வெப்ப அலைகள், ஒளி அலைகள், மின் அலைகள், காந்த அலைகள் — விந்தையான கலவையினைக் கண்டது மாக்ஸ்வல் கூறிய மின்காந்தக் கொள்கையின் பெருஞ்சாதனை யாகும். இக் கொள்கை என்றும் நிலைத்து நிற்பதற்குரிய ஒன்றே ஆகும்.

(b) முடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் ஆற்றலை வீசியே ஆக வேண்டும்:

தனிமங்களின் உள்ளிருக்கும் மின்னூட்டங்களை (charges) பல்வேறு அதிர்வு எண்களில் அதிரச் செய்வதற்கான பல திறப் பட்ட வழி வகைகளுக்கு ஏற்ப, தனிமங்கள் பல வகை மின்காந்த அலைகளை உமிழ்கின்றன என்பதை மேலே கண்டோம். முடுக்கப் பட்ட எந்த ஒரு மின்னூட்டமும் மின் காந்தத் துடிப்பாகவோ (pulse) அல்லது அலைத் தொடராகவோ ஆற்றலை வீசியே ஆக வேண்டும் என்று கூறி கதிர்வீச்சின் உட்தன்மை பற்றிய சிறு குறிப்பு ஒன்றையும், மின்காந்த அலைக்கொள்கை நமக்கு அளிக் கிறது. இது இக் கொள்கையிலிருந்து பிரிக்க முடியாத ஒரு முடிவாகும். இது இன்றி இக் கொள்கையைக் கொண்டு எதையும்

விளக்க இயலாது. மாக்ஸ்வல் கொள்கையின் உயிர்நாடி "இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்" தான் மின்னூட்டத்தின் அளவில் அல்லது நிலையில் மாற்றங்கள் ஏற்படும்போதுதான் இடப் பெயர்ச்சியினோட்டம் ஏற்படும். சாதாரண திசைமாறு மின்னோட்டம் (A.C) ஒரு கடத்தியின் வழியே செல்லும்போது ஏற்படுவதே போன்று, அதற்கேற்ப மாறும் காந்தப் புலம் ஒன்று இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்துடன் இணைந்தே காணப்படுகிறது. இதற்கும் மேலாக ஒழுங்கான இயக்கமுள்ள ஏற்றை எலக்ட்வின் கூட ஒரு மின்காந்த அலைத் தொடரை அனுப்பும் அதாவது ஆற்றலை வீசும், இதிலிருந்து முடுக்கப்பட்ட எந்த ஒரு மின்னூட்டமும் ஆற்றலை வெளியிட்டே ஆகவேண்டும் என்று தெரிகிறது. நிலையாக இருக்கும் மின்னூட்டம் திடீரென முன் தள்ளப்பட்டாலோ (அதாவது நேர்முடிக்கம் (Positive acceleration) தரப்பட்டால்) அல்லது இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் மின்னூட்டம் ஒன்று திடீரென நிறுத்தப்பட்டாலோ (அதாவது எதிர்முடுக்கம் தரப்பட்டால்) ஒரு மின்காந்தத் துடிப்பு அனுப்பப்படுகிறது. இது எஃகு பந்தொன்று கனமான எஃகு தகட்டோடு மோதும்போது ஏற்படும் ஒலித் துடிப்புப் போன்றது. கொடுக்கப்படும் முடுக்கம் அம் மின்னூட்டம் ஒரு நேர்க்கோட்டில் முன்னும் பின்னுமாக அதிர்வதற் கேற்றதாகவோ அல்லது சீரான ஒரு வேகத்தோடு வட்டப்பாதை ஒன்றில் இயங்கச் செய்வதற் கேற்றதாகவோ இருப்பின் (இரு வகை இயக்கங்களும் சீராக அலைவுகள்) (Simple harmonic oscillations) ஒலிக்கவை (tuning fork) ஒன்றிலிருந்து வரும் ஒலியைப் போன்ற மின்காந்த அலைத் தொடர் ஒன்று வெளியிடப்படுகிறது. இக் கொள்கையின்படி ஆற்றல் அலைகளை உண்டாக்காமல் ஒரு மின்னூட்டம் முடுக்கம் பெற இயலாது.

ஜே. ஜே. தாம்சனும் மற்றும் சிலரும் மின்காந்தக் கொள் கையின் அடிப்படையில் q என்னும் மின்னூட்டம் a என்னும் முடுக்கம் பெற்ற நிலையில் வெளியிடும் ஆற்றலின் அளவு $\frac{2q^2a^2}{3c^2}$ எனக் கணக்கிட்டுள்ளனர். இதில் C என்பது ஒளியின் வேகத் தைக் குறிக்கிறது. இதைப் பல வழிகளில் பயன்படுத்தினார்கள். அவைகளில் பின்வருவன குறிப்பிடத்தக்கனவாகும்.

(i) எக்ஸ்-கதிர்கள் :

இக் கொள்கைக் கேற்ப எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்கும் முறை பின்வருமாறு ஒரு மின்னிறக்கக் குழலின் எதிர்மின் கற்றையில் விரைந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. எதிர் மின் னூட்டங் கொண்ட இத் துகள்கள் ஒரு திண்மையான தடையின்

மீது மோதி திடீரென நிறுத்தப்பட்டால் அவைகள் மிகக் குறைந்த காலத்திற்கு எதிர் முடுக்கம் பெறுகின்றன. இவ்வாறு எதிர் முடுக்கமுற்ற மின்னூட்டங்கள் ஆற்றலை அலைகளாக வெளியிடுகின்றன. இக் கொள்கையின் அடிப்படையில் எதிர்மின் கற்றையில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கு ஒன்றால் திடீரென நிறுத்தப்பட்டதால் ஒன்றன் பின் ஒன்றாக, மிக விரைந்து உமிழப்பட்ட மின்காந்தத் துடிப்புகளே எக்ஸ் கதிர்கள் என்று கூறலாம். இம் முறையில் எக்ஸ்-கதிர்களாக வெளிவிடப்படும் ஆற்றலின் அளவு

$$W = \frac{2e^2v^2}{3c^4d}$$

என்னும் சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது. இதில் e என்பது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம், v என்பது எலெக்ட்ரானின் வேகம், c என்பது ஒளியின் வேகம் மற்றும் d என்பது மின்காந்தத் துடிப்பின் எக்ஸ்-கதிரின்- தடிப்பு ஆகும். இது ct என்பதற்குச் சமம். இதில் t என்பது எலெக்ட்ரான் தடுத்து நிறுத்தப்படும் சிறுகால அளவாகும். இதிலிருந்து தடுத்து நிறுத்தப்படுகிற காலமாகிய t என்பது எவ்வளவுக்கு எவ்வளவு குறைவாக இருக்கிறதோ அல்லது எலெக்ட்ரான் எவ்வளவு விரைவில் நிறுத்தப்படுகிறதோ அவ்வளவுக்கு அவ்வளவு வெளியிடப்படும் ஆற்றலின் அளவு அதிகமாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தோடு செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் இலேசான அணுக்களைவிட, கனமான அணுக்களால் மிக விரைவாக நிறுத்தப்படுகின்றன என்பது பகுத்தறிவுக்குப் பொருத்தமான ஒன்றே ஆகும். ஆகவே டங்ஸ்டன் போன்ற கனமான உலோகத்தை இலக்காகப் பயன்படுத்தும் போது ஏற்படும் எக்ஸ் கதிர்களின் ஆற்றல் இலேசான உலோகத்தை இலக்காகப் பயன்படுத்தும்போது கிடைக்கும் எக்ஸ் கதிர்களின் ஆற்றலைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இது செய்முறை மூலம் மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது. எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க எக்ஸ்-கதிர்களாக வெளிவரும் ஆற்றலும் அதிகரிப்பது தெரிந்தது. எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றலின் இருமடிக்கு ஏற்ப எக்ஸ்-கதிர்களின் தன்மை அதிகமாகிறது என்பதைச் செய்முறைகள் காட்டுகின்றன. அதாவது எக்ஸ் கதிர்களின் தன்மை v^4 க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. இது கொள்கையளவினதாகக் கண்ட அளவிலிருந்து மாறுபடாமல் இருக்கிறது. தொடர்ந்து வரும் எக்ஸ்-கதிர்த் துடிப்புகளை அலைத் தொடர்களாகப் பகுத்தால் இலக்கால் தடுத்து நிறுத்தப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் அதிகமாக அதிகமாகக் குறுகிய அலைநீளத்தின் ஆக்கக் கூறுகள் (Components) அதிக

செறிவுள்ளதாக இருப்பதை ஸ்டோனி (Stoney) என்பார் காட்டினார். நெட்டலைகளைவிட, பொதுவாகக் குற்றலைகளுக்குப் பொருட்களை ஊடுறுவிச் செல்லுந் திறன் அதிகம் என்றும் அவர் மெய்ப்பித்தார். எனவே அதிக மின்னழுத்தத்தைப் பயன் படுத்தியே கடின எக்ஸ்-கதிர்களை உண்டாக்க வேண்டும். இது செய்முறை உண்மைகளுக்கு நன்கு பொருந்தி வருகிறது, மேற்கூறிய ஆய்வுகளுக்கு எக்ஸ்-கதிர்களின் தொன்மை மின் காந்தத் துடிப்புக் கொள்கை (Classical Electromagnetic Pulse theory of X-Rays).

(ii) அதிர்வுறும் எலெக்ட்ரான் (Vibrating electron) :

மின்காந்த அலைக் கொள்கையின்படி அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளின் அதிர்வினால் ஒளி அலைகள் உண்டாகின்றன. எனவே இது சுவையுள்ள ஒன்றாகும். சீரிசை முறையில் (simple harmonically) அதிர்வுறும் ஒரு எலெக்ட்ரான் அதன் ஒரு முழு அலைவு நேரத்தில் வெளியிடும் ஆற்றலின் அளவு

$$W = \frac{16\pi^4 e^2 \nu^2 A^2}{3c^2}$$

இங்கு e என்பது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் ν என்பது அதிர்வு எண் A என்பது அலைவீச்சு, மற்றும் c என்பது ஒளியின் வேகம் இந்த அளவுள்ள ஆற்றலை கிடைக்கும் ஆற்றலின் கூடுதல் அளவின் P என்னும் ஒரு பின்னமாகக் கூற

$$P = \frac{8\pi^2 e^2 \nu}{3m\ c^3} \text{ என்றாகும்.}$$

இதிலிருந்து, உமிழப்பட்ட கதிர்வீச்சு ν என்னும் அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறதென்றும் எலெக்ட்ரானின் அதிர்வு என்னவோ அதுவேதான் கதிர்வீச்சின் அதிர்வாகும் என்றும் அறிகிறோம். எக்கணத்திலும், அதிர்வுறும் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் $W = W_0 e^{-kt}$ என்பதால் பெறப்படுகிறது. இதில் W என்பது t என்னும் சமயத்தில் இருக்கும் ஆற்றலாகும். W_0 என்பது அதிர்வின் முழு ஆற்றலாகும். மற்றும்

$$k = \frac{8\pi^2 \nu^2 e^2}{3m\ c^2} \text{ ஆகும்.}$$

இத் தொடர்பு அதிர்வுறும் எலெக்ட்ரானின் வீச்சு amplitude) அல்லது ஆற்றல் கதிர்வீச்சு முறையினால் ஏற்படும் எழுச்சி அடக்

கத்தால் எக்ஸ் பொனன்ஷியல் வகையில் குறைகிறது. எனவே அதிர்வுறும் எலெக்ட்ரானை அதன் போக்கிற்கு விட்டுவிட்டால் அதாவது ஏதாவது ஒன்றைக் கொண்டு ஆற்றல் தராது விட்டு விட்டால் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையான பாதையில் செல்லாது வட்டப் பாதையில் சென்று கொண்டிருந்தால் உட்சுழிப் பாதை (spiral path) வழியாகச் சென்று மையத்தை அடையும். இவ்வாறு தன்னுடைய நிலையான வட்டப்பாதையைத் தானே அழித்து விடும்.

(c) **தொடர் செயல்** (Continuity of action) :

மின்காந்தக் கொள்கைப்படி மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் ஆகியவை காலத்தோடு தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே இருப்பதால் மின்காந்த அலையில் ஆற்றலின் ஓட்டம் அலை முகப்பு முழுவதும் தொடர்ந்து காணப்படல் வேண்டும். அலை முகப்பை (wave front) வரையறையின்றி எவ்வளவு பெரிதாகச் செய்தாலும் கூட அது தொடர்ச்சியாக இருத்தல் வேண்டும். அதாவது அமைப்பில் தொடர்பின்மைக் காட்டக்கூடாது. ஏனெனில் இவ் வலையில் உள்ள மின் வெக்டார் (electric vector) மற்றும் காந்த வெக்டார் (magnetic vector) இவைகளுக்கு அமைப்பு இல்லை. அவை சுழிக்கு மேல் (zero) மதிப்புள்ள எந்த அளவு வேண்டு மானாலும் கொள்ளலாம். ஆற்றல் வீச்சு தொடர்ந்து ஏற்பட வேண்டுமென்பது மேற்கூறிய நிலைகளைத் தொடர்ந்து ஏற்படும் விளைவு ஆகும். மின் காந்தக் கொள்கையின் கடைசி இரு முடிவு களும் (*b* மற்றும் *c*) முரண்படுவதைச் செய்முறைக் குறிப்புகளினால் விரைவில் கண்டனர். இவை அக் கொள்கையின் குறைகளாகக் கருதப்பட்டன. இக் குறைகளுடன் ஊடகம் பற்றிய தொல்லை யையும் சேர்த்துக் கொள்ளலாம்.

கதிர்வீச்சின் குவான்டக் கொள்கை (Quantum theory of radiation) :

இந் நூற்றுண்டின் துவக்கத்தில் மாக்ஸ் பிளாங் (Max-Planck) என்பவர் 'கருமைப் பொருள்' கதிர்வீச்சில் (black body radiation) ஆற்றல் பரவுகின்ற முறை சம்பந்தமாகக் குவான்டக் கொள்கை யைக் (Quantum theory) கூறினர். இக் கொள்கை, மின்காந்தக் கொள்கையிலுள்ள மேலே குறிப்பிட்ட குறைகளை அவைகளை மறுப் பதன் மூலம் விந்தையான முறையில் தீர்த்து வைத்தது. தொன்மை, கொள்கையின் அடிப்படையில் ''கருமைப் பொருள்'' கதிர்வீச்சில் ஆற்றல் பரவும் முறைபற்றி எழுந்த வெயின் வாய்பாடு (Wien's formula) ஆகிய

$$dE = K\lambda^{-5} e^{\frac{-a}{\lambda T}} \cdot d\lambda$$

மற்றும் ராலேஜீன்ஸ் (Raleigh-Jeans) வாய்பாடாகிய

$$dE = B\lambda^{-4} Te^{\frac{-a}{\lambda T}} \cdot d\lambda$$

போன்றவை பொருளற்ற தவருன முடிவுகளுக்குக் கொண்டு சென்ற தோடன்றி செய்முறையிலும் தோல்வி அடைந்தன. கதிர் வீசு கின்ற பொருள்களின் ஆற்றல் மாற்றங்கள் தொடர்ந்து நடைபெறு கின்றன என்று கொண்டதால்தான் தான் மேற்கூறிய வாய்பாடு கள் தோல்வியுற்றன என்பதைப் ப்ளாங் உணர்ந்தார். தொன் மைக் கொள்கையின் "'கதிர்வீச்சு தொடர்ந்த செயல்' (Continuity of action) என்ற கருத்து தவருக இருக்கக்கூடும் என்று கூறி புதிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையை வெளியிட்டார். இப் புதிய கொள்கையின்படி ஆற்றல் மாற்றங்கள் விட்டுவிட்டு. தனித் தனியாக, குவான்டம் (Quantum) என்னும் அடிப்படை அலகு ஒன்றின் முழு எண் மடங்குகளாகவே ஏற்படுகின்றன. ஆற்றல் முடிச்சு $h\nu$ எனப்படுவதாகும், இதில் h என்பது விகித மாறிலி (constarnt of proportionality)யையும் ν என்பது கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண்ணை (frequency)யும் குறிப்பிடுகின்றன. மின்காந்தக் கொள்கையின் கருத்துக்கு நேர் எதிரான கருத்தின் அடிப் படையில் ப்ளாங் வெப்பக் கதிர்வீச்சுப் பற்றிய தெள்ளிய விதி ஒன்றைப் பெற்ருர்.

$$dE = 8\pi^{-4} d\lambda \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

ஆகையால்,

$$dE = \frac{8\pi hc\lambda^{5} - d\lambda}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1}$$

கதிர்வீச்சுப் பற்றிய ப்ளாங்கின் கொள்கைகள் மிகத் தீவிர மானவையாக இருந்தமையால் அவை உடனே ஒப்புக்கொள்ளப் படவில்லை. தொன்மைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் தீர்க்க முடியாதவையாகத் தோன்றிய, முற்றிலும் வேறுபட்ட துறை களைச் சேர்ந்த பல்வேறு பௌதிகப் பிரச்சினைகளைத் தீர்ப்பதில் ப்ளாங்கின் கருத்துகள் பெற்றிருந்த சிறப்பினை முதலில் உணர்ந் தவர்களில் ஐன்ஸ்டீனும் ஒருவர். 1905-ல் ஒளிமின் நிகழ்ச் சிக்கும் பின்னர் 1907-ல் வெப்ப எண் (Specificheat) பற்றிய

சிக்கலுக்கும் ஆற்றல் முடிச்சுக் கருத்தினைப் பயன்படுத்தி அவர் பெரு வெற்றி அடைந்தார். 1913-ல் போர் (Bohr) என்பார் அணு அமைப்பு மற்றும் நிறமாலைக் கோடுகளின் பிறப்பிடம் முதலிய ஆய்வுகளிலும் பின்னர் 1922-ல் காம்ப்டன் (Compton) என்பார் எக்ஸ்-கதிர்களின் பல்லினச் சிதறல் (incoherent scattering) நிகழ்ச்சிக்கும் இப் புதுக்கொள்கையைப் பயன்படுத்தினார்கள்.

மேற்கூறிய பயன்களிலிருந்து, ஆற்றல் தனித்தனி முடிச்சு அளவுகளாகவே, விட்டுவிட்டு உமிழப்படவோ அல்லது உட்கவரவோப்படுகிறது என்பது தெளிவாயிற்று. மேலும் ஈதர் போன்ற புனைவு ஊடகங்களில் அலைகளாகப் பரவாமல், சுடப்பட்ட துப்பாக்கிக் குண்டுபோல இக் கதிர்வீச்சு வெளி (space) வழியே செல்லும்போது அது தன் குவாண்ட அமைப்பிலிருந்து (Quantum Structure) மாறாமல் இருக்கிறது என்பதும் தெளிவாயிற்று. இது ப்ளாங் முதலில் கூறிய புனைவு சோளின் (hypothesis) தொடர்ச்சியே ஆகும். இதன்படி கதிர்வீச்சு என்பது நுண்ணிமத் தன்மையுடையது, ஒளியின் வேகத்தோடு வெளியில் (space) வீசப்படும் தனித்தனியான ஆற்றல் முடிச்சுக்களைக் கொண்டது என்று கருதப்படுகிறது.

ஃபோட்டான்கள் (Photons) :

கதிர்வீச்சின் இத் துகள் தோற்றம் நியூட்டனின் நுண்ணிமக் கொள்கையை (corpuscular) நோக்கித் திரும்பிச் செல்வதுபோல் தோன்றுகிறது. ஆனால் முற்றிலும் அவ்வாறு இல்லை. ஏனெனில் கதிர்வீச்சில் தனித்தனியான நுண்ணிய பொருட் துகள்கள் (material particles) இருப்பதாக நியூட்டன் கருதினார். ஆனால் குவான்டங்கள் (Quantan) என்பது $h\nu$-க்குச் சமமான ஆற்றலின் அளவுகளாகும். ஆகவே இதில் கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண் பங்கேற்றிருக்கிறது. இதிலிருந்து ஆற்றல் முடிச்சுகள், நியூட்டனின் ஒளி நுண்ணிமங்களை (light eorpuscles)ப் போலன்றி கதிர்வீச்சின் அலைப் பண்பினைக் கொண்டிருக்கின்றன என்று தெரிகிறது. இப் பொருள் பொதிந்த கருத்தில்தான் ஆற்றல் முடிச்சுகளைத் தற்போது ஃபோட்டான்கள் என அழைக்கிறோம். கதிர்வீச்சின் இரட்டைப் பண்புகளாகிய அலைப் பண்பு மற்றும் நுண்ணிமப் பண்பு ஆகியவைகளின் கலவையே ஃபோட்டான் ஆகும். இவ்விரு பண்புகளும் முரண்பட்டவை அன்று. இன்னும் சொல்லப்போனால் ஒன்று மற்றதன் பகுதியே ஆகும் என்றும் இப்போது கருதப்படுகிறது. இவ்வாறு கூறுவதற்குக் காரணம் கதிர்வீச்சின் அலைப் பண்பை முழுதும் விட்டுவிட இயலாமைதான். ஏனெனில் விளிம்பில் விலகல், குறுக்கீடு ஆகியவைகளை

அவைகளை விளக்குவதற்கென்றே எழுந்த அலைக் கொள்கையால் அன்றி நுண்ணிமக் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்க இயலாது. மாருக ஆற்றல் முடிச்சுக் கருத்தினைக்கொண்டு மட்டுமே கரும் பொருள் கதிர்வீச்சு (black body radiation) மற்றும் ஒளிமின் விளைவு (photo electric effect) போன்ற நிகழ்ச்சிகளுக்குத் தகுந்த விளக்கந்தர இயலும். எனவே கதிர்வீச்சுப் பற்றிய எல்லா நிகழ்ச்சிகளுக்கும் போதிய விளக்கந் தரவேண்டுமானுல் கதிர் வீச்சுக்கு, மேற்கூறிய இரட்டைப் பண்பினைத் தரவேண்டியவர் களாக இருக்கிறேம். தனிப்பட்ட அணுக்களிடையே ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றங்கள், மற்றும் கதிர்வீச்சுகள் இவை பற்றி ஆய் கின்ற குறிப்பிட்ட இடங்களில் மட்டுமே கதிர்வீச்சில் நுண்ணிமப் பண்பு காணப்படுகிறது என்பதையும் மிக அதிக அளவு அணுக் களைக் கொண்ட பெருமளவு பகுதியில் ஏற்படும் கதிர்வீச்சு மற்றும் பொருள் இவைகளின் பின்னிச் செயல்படும் விளைவுகளில் நுண்ணிமப் பண்பு காணப்படுவதில்லை என்பதையும் நினைவில் வைத்தல் வேண்டும்.

ஃபோட்டான்கள் தற்சிறப்புப் பண்புகள்

(Characteristic properties of Photons)

ஃபோட்டான்களைப் பற்றிய பொருள் பொதிந்த கருத்தின் அடிப்படையில், கதிர்வீச்சின் முக்கியமான தற்சிறப்புப் பண்புகள் சிலவற்றை இங்கு பார்ப்போம்.

(a) ஃபோட்டான்களின் நிலைபேறு (The existence of photons):

ஃபோட்டான்கள் உண்மையிலேயே இருக்கின்றன என்பதற் கான செய்முறைச் சான்றுகள், எலெக்ட்ரான் உண்மையில் இருக்கின்றன என நிலைநாட்டிய செய்முறைச் சான்றுகளைப் போன்றவையே ஆகும். இவை ஒவ்வொன்றிலும் குறிப்பிட்ட அளவுகளை உள்ளடக்கிய பிரிக்க இயலாத ஒரு கூறு இருப்பதைச் செய்முறை குறிப்பிடுகிறது. — எலெக்ட்ரான் e மற்றும் m–ஐ கொண்டது ஃபோட்டான் h மற்றும் ν-ஐ உடையது — எலெக்ட் ரானில் அஃதைவிடச் சிறிய ஒரு பகுதி இல்லாததைப் போலவே ஃபோட்டானிலும் அதைவிடச் சிறிய ஒரு பகுதி இல்லை. ஃபோட் டான்கள் எத்தகைய மாறுதல்களின் போதும் அவைகளின் தனித்த பண்புகளை (individual identities) அப்படியே காப்பாற்றிக் கொள்கின்றன. அவை அணு அல்லது மூலக் கூறினுல் முழுமை யாக உட்கவரவோ அல்லது உமிழவோப்படுகின்றன. ஃபோட் டான்கள் ஆற்றலை மாற்றிக் கொள்ளக்கூடும். ஆனுல் அவ்வாறு

மாற்றிக் கொள்ளும்போது ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் தனித்த ஒன்ருக இருக்கும் வண்ணம் அதன் அதன் புது ஆற்றலுக்குத் தக்க விதத்தில் அவை தங்களின் அதிர்வு எண்ணை சரி செய்து கொள்கின்றன. அணுப் பௌதிகத்தில் நாம் வழக்கமாகப் பயன் படுத்தும் கதிர்வீச்சுத் தனி அணுக்களில் ஏற்படும் கலக்கத்தின் (disturbance) விளைவே ஆகும். இவ்வாறு ஏற்படும் ஒவ்வொரு கலக்கத்திற்கும் ஒரு ஃபோட்டான் மட்டுமே உண்டாகிறது.

(b) **ஃபோட்டான்களில் உள்ள ஆற்றலின் அளவு** (The energy content of photons) :

ஒரு ஃபோட்டானில் உள்ள ஆற்றலின் அளவு, $h\nu$ என்பதால் குறிக்கப்படுகின்ற ஆற்றல் முடிச்சு அளவுகளாகக் கணக்கிடப் படுகிறது. ஆனுல் எல்லா கதிர்வீச்சு வகைகளுக்கும் $h\nu$ என்னும் ஆற்றல் முடிச்சலகு சமமாய் இருப்பதில்லை. ஏனெனில் ν-ஐ பொறுத்துள்ள இவ்வலகு ஒவ்வொரு கதிர்வீச்சுக்கும் வேறு வேருக இருக்கிறது. முதலில் கூறப்பட்ட ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கைப்படி ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $h\nu$, $2\,h\nu$, $3\,h\nu$...... $nh\nu$ என்று $h\nu$-ன் முழுமடங்குகளாக இருக்கும் என்று கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனுல் புதிய குவான்ட விசையியல் (Quantum mechanics) கருத்துகளின்படி ஆற்றலின் அளவு $(n+\frac{1}{2})\ h\nu$ என்னும் மதிப்புடையது என திருத்திக் கூறப்பட்டுள்ளது. இதில் n என்பது முழு எண் ஆகும். இதிலிருந்து ஒரு ஃபோட்டானின் கீழ்மட்ட (limiting value) ஆற்றல் சுழி ஆகாமல் $\frac{1}{2}\,h\nu$ ஆகும் என்பது தெரிகிறது. இதில் உள்ள h என்னும் மாறிலி அடிப்படை ஆற்றல் முடிச்சு அல்லது செயல் அளவு (Quantity of action) என்பதைக் குறிப்பிடுகிறது. இது ஆற்றல் $\times$ காலம் என்றும் செயலின் (action) அளவுகளைப் பெற்றிருக்கிறது. ஏனெனில் ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $h\,\nu = h \times \frac{1}{T}$ இங்கு T என்பது அலைவு நேரத்தைக் குறிக்கிறது. எனவே $h =$ ஆற்றல் $\times$ அலைவு நேரம் (காலம்) இந்த மாறிலிதான் ஃபோட்டானின் தனித்த பண்புகளுக்குக் காரணமாய் அமைகிறது. இதுதான் கதிர்வீச்சுக்குத் துகள் பண்பினைத் தருகிறது. கொள்கை வாயிலாகவும், பல செயல்முறைக் குறிப்புகளின் வாயிலாகவும் கணக்கிடப்பட்டுள்ள இதன் எண் மதிப்பு $= 6.55 \times 10^{-27}$ எர்க்-செகண்டு ஆகும்.

ஃபோட்டானின் ஆற்றல் அதன் செறிவைப் பொறுத்தது அல்ல. அதன் அதிர்வு எண்ணை மட்டுமே பொறுத்தது. இக் கருத்துக் கதிர்வீச்சுகள் வெறும் அலைகளே என்றும் அலைகளின் செறிவினைக் கொண்டு கணக்கிடப்படும் ஆற்றல் ஊடகத்தின்

பௌதிகப் பண்புகளைப் பொறுத்தது என்னும் பழைய கொள்கையின் கருத்துக்கு முரண்பட்டதாகும். ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின்படி செறிவு என்பது ஒரு கற்றையில் உள்ள ஃபோட்டான்களின் கூடுதல் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். இங்கு செறிவுக்கும் கற்றையில் உள்ள தனியொரு ஃபோட்டானின் ஆற்றலுக்கும், எவ்வித தொடர்பும் இல்லை. ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் அவற்றின் உள்ளார்ந்த பண்புகளைப் பொறுத்தது.

(c) ஃபோட்டான்களின் நிறையும், உந்தமும் (Mass and momentum of photon) :

ஃபோட்டான்கள் எல்லாம் ஒளியின் வேகம் என்னும் ஒரே வேகத்தில் செலுத்தப்படுவதால் ஐன்ஸ்டீனின் சார்புக் கொள்கையை அவைகளுக்குப் பயன்படுத்தலாம். அக் கொள்கையின் விளைவுகளில் பொருண்மை—ஆற்றல் தொடர்பு (mass-energy relation) என்பதும் ஒன்று. அதற்கு ஏற்ப ஃபோட்டான் அதற்கே உரிய ஒரு பொருண்மையைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். அத் தொடர்பின்படி

$$m = \frac{W}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$$

ஏனெனில் $h\nu$ என்பது ஃபோட்டானின் ஆற்றல் (W)-ஐ குறிக்கிறது. மேலும் ஃபோட்டான்கள் எப்போதும் இயங்கிக் கொண்டே இருப்பதால் இயங்கும் பருப்பொருளின் துகள் (material particle) ஒன்றைப் போலவே அவைகளுக்கும் ஒரு மோதப்பாடு இருத்தல்வேண்டும். ஆனால் ஒரே ஒரு வேறுபாடு. எல்லா ஃபோட்டான்களும் ஒளியின் வேகமாகிய c என்னும் மேல் வரம்பு வேகத்துடன் (limiting velocity) வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. ஆனால் பருப்பொருளின் துகள்கள் வெவ்வேறு அளவுள்ள வேகங்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. மாறும் தன்மையுள்ள அவ் வேகங்கள் ஒருபோதும் ஒளியின் வேகத்தை (cஐ) நெருங்க முடியாதன. ஃபோட்டானின் மோதப்பாட்டினைப் பின்வருமாறு எளிதில் அடையலாம்.

$$\text{உந்தம்} = \text{நிறை} \times \text{வேகம்}$$

$$= \frac{h\nu}{c^2} \cdot c$$

$$= \frac{h\nu}{c}$$

எக்ஸ்-கதிர்ச் சிதறலில் காணப்பட்ட காம்ப்டன் விளைவு (compton effect) ஃபோட்டான்களுக்குப் பொருண்மையும், மோதப்பாடும்

உண்டு என்பதற்கான நேரடிச் சான்ருகும். எக்ஸ்-கதிர் ஃபோட்டான்களின் பொருண்மைக்கு $\frac{hv}{c^2}$ என்றும் மோதப்பாட்டிற்கு $\frac{hv}{c}$ என்றும் பயன்படுத்தி மட்டுமே காம்ப்டன் விளைவின் பல்வேறு தற்சிறப்புப் பண்புகளை (characteristics) விளக்குதல் இயலும்.

(d) **ஃபோட்டான்களின் மின் அற்ற இயல்பு** (Non-electrical nature of photons) :

ஃபோட்டான்கள் இருவகை மின்னூட்டமும் அற்ற நிலையில் இருக்கின்றன. ஆகவே இவை மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் இவற்ருல் பாதிக்கப்படுவதில்லை. மேலும் அவை நேரடியாக ஆயனியாக்கம் செய்வதும் இல்லை. எனவே மின்னூட்டமுள்ள துகள்களுக்குப் பயன்படுத்துகின்ற சாதாரண முறைகளைக் கொண்டு ஃபோட்டான்களைக் கண்டறியவோ அவைகளின் ஆற்றல் அல்லது செறிவினை அளவிடவோ இயலாது. ஃபோட்டான்களின் பகுப்பாய்வில் பயன்படுத்தப்படும் கருவிகள் எல்லாம் நேரடியாக அவைகளுக்குக் கூர் உணர்வு திறன் (sensitive) கொண்டதாக அமையாது ஃபோட்டான்கள் பொருள்களோடு பின்னிச் செயல்படுவதால் உண்டாகும் இரண்டாம் நிலை விளைவு களுக்கு (secondary effects) மட்டுமே உணர்வு திறன் கொண்டவையாக இருப்பதால் நேரடியாக ஃபோட்டான்களை உணர்த்துவதில்லை.

ஐன்ஸ்டீன் கூறிய சமநிலை விதி (Einstien's Law of equivalence) :

பொருளுடன் பொருளும், அல்லது பொருளுடன் கதிர்வீச்சும் பின்னிச் செயல்படும் (interact) நிகழ்ச்சியில் ஆற்றல் மாரு நிலையைக் குறிக்க ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையுடன் ஒத்திருக்கும் வகையில் ஐன்ஸ்டீன் ஒரு விதியை இயற்றினூர். அதற்கு ஐன்ஸ்டீனின் சமநிலை விதி என்று பெயர். இது அணுப் பௌதிகத்தில் பெரிதும் பயன்படுகிறது. இவ் விதியினைப் பின்வருமாறு பெறலாம்.

ஒரு பொருட் துகளுக்கும், கதிர்வீச்சிற்கும் இடையே, பின்னிச் செயல்படல் (interaction) நிகழ அதனுல் v என்னும் அதிர்வெண் கொண்ட கதிர்வீச்சு உண்டாவதாகவோ அல்லது மறைவதாகவோ கொள்வோம். அத் துகள் இழந்த அல்லது அடைந்த ஆற்றலின் அளவு ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின்படி hv-க்குச் சமம்.

m என்பது துகளின் பொருண்மை என்றும் v என்பது அதன் வேகம் என்றும் கொண்டால், முதுபழம் இயக்க வியலின்படி

(classical dynamics) அத் துகளின் இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) $= \frac{1}{2} mv^2$ ஆற்றல் மாறா விதியின்படி

$$hv = \frac{1}{2} mv^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

வேகம் மிக அதிகமாக இருப்பின் சார்பு இயக்கவியலை (relativistic dynamics)ப் பயன்படுத்துதல் வேண்டும்.

$$hv = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

அத் துகள் e என்னும் மின்னூட்டங் கொண்டதெனவும், V என்னும் மின்னழுத்த மாறுபாட்டிற்கு ஆட்படுத்தப்படுவதாகவும் கொள்வோம். இப்போது அத் துகளின் இயக்க ஆற்றல் $= eV$ ஆகும். எனவே

$$eV = hv \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

(1) மற்றும் (2) இவைகளைச் சேர்க்க, நமக்கு ஐன்ஸ்டீன் சமநிலை விதி கிடைக்கிறது.

$$\frac{1}{2} mv^2 = hv = eV$$

பல்வேறு பெரு நிகழ்ச்சிகளை இணைக்கும் இத் தொடர்பு, முக்கியமான ஒன்றாகும். எடுத்துக்காட்டாக, எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் eV என்னும் ஆற்றலைக் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களை, மாற்று எதிர்மின் வாயின் (anti cathode) மேல் மோதச் செய்யும் போது எக்ஸ்-கதிர்கள் உமிழப்படுகின்றன. அவைகளின் அலை நீளம் λ-ஐ $eV = hv = \frac{hc}{\lambda}$ என்பதிலிருந்து பெறலாம்.

$$\lambda = \frac{hc}{eV}$$

$h = 6{\cdot}55 \times 10^{-27}$ எர்க்-விநாடி

$e = 4{\cdot}77 \times 10^{-10}$ நி. மி. அலகுகள்

$c = 3 \times 10^{10}$ செ.மீ. / விநாடி

என்று கொண்டால்

$$\lambda = \frac{6.55 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{4{\cdot}77 \times 10^{10} \times V} \text{ செ.மீ.}$$

λ-வை A° அலகுகளாகவும் (10^{-8} செ.மீ.) Vஐ வோல்ட்டு களாகவும் $\left(\frac{1}{300}\text{ நி. மி. அலகுகள்}\right)$ கூறினுல்

$$\lambda\ (A^\circ\ \text{அலகில்}) = \frac{6{\cdot}55 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10} \times 10^{8}}{4{\cdot}77 \times 10^{-10} \times V\,(\text{வோல்ட்}) \times \frac{1}{300}}$$

$$= \frac{12345}{V\,(\text{வோல்ட்களில்})}\ (\text{சுமார்})$$

எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் இரு முனைகளுக்கு மிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு தெரிந்தால், உமிழப்படும் எக்ஸ்-கதிர் களின் அதிர்வு எண் மற்றும் அலை நீளம் ஆகியவற்றை மேற்கூறிய தொடர்பிலிருந்து அடையலாம்.

$V = 40{,}000$ வோல்ட்டுகள் ஆனுல்,

$$\lambda = \frac{12345}{40{,}000} = 0{\cdot}3A^\circ$$

$V = 5$ வோல்ட்டுகள் என்ருல்,

$$\lambda = \frac{12345}{5} = 2469A^\circ$$

இது எக்ஸ்-கதிர் அல்ல. புற ஊதாக் கதிராகும். தெரிந்த மின் னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு ஆட்படுத்தப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்க் குழாய் உண்டாக்கும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைநீளத்தை அளந்து

$$\lambda = \frac{hc}{eV}$$ என்பது மெய்ப்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இவ்வாறே ஒளிமின் விளைவில் (photo electric effect) தெரிந்த அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சினுல் ஒளிப் பிறக்கம் (irradiate) செய்யப்படுவதால் உண்டாகும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் (photo electrons) இயக்க ஆற்றலை அளந்து ஐன்ஸ்டீன் விதி மெய்ப் பிக்கப்பட்டது.

கதிர்வீச்சுப் பற்றிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் இரு முக்கிய பயன்கள்

அணுப் பௌதிகத் துறையில் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கை பல வெற்றிகளை அடைந்திருக்கிறது. அவைகளைப் பற்றி தக்க இடங்களில் குறிப்பிடுவோம். இங்கு அளவில்லாத வெற்றியைத் தந்த இருவித பயன்களைப் பற்றி மட்டும் கூறுவோம். அவ் வெற்றிகள் இக் கொள்கைக்கு அசைக்க முடியாத சான்றுகளாக விளங்குகின்றன. அவைகள் ஒளிமின் வினை (photo electric effect) மற்றும் காம்ப்டன் வினைவு (compton effect) என்பனவாகும்.

ஒளிமின் வினைவு :

நாம் முன்னரே கண்டவாறு ஒளிமின் வினைவின் தற்சிறப்புப் பண்புகளான (1) ஒரு உலோகத்தில் உள்ள நூறு மில்லியன் அணுக்களில் படுகதிரின் உதவியால் இவ் வினைவினை உண்டாக்குவதற்கு ஒரு அணுவைப் பிரித்தெடுப்பது. (2) ஃபோட்டோ எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் மற்றும் ஆற்றல் இவை படுகதிரின் செறிவினைப் பொறுத்தது அல்ல. ஆனால், அவை படுகதிரின் அதிர்வு எண்ணையே பொறுத்திருக்கின்றன. (3) தொடக்க நிலை அதிர்வு (threshold frequency) என்ற ஒன்று உளவாயிருத்தல். மற்றும் (4) உடனடியான ஒளிமின் உமிழ்வு ஆகியவற்றைத் தொன்மை மின்காந்தக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அறிதல் இயலாது.

ஐன்ஸ்டீன் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையினை ஒளிமின் வினைவுக்குப் பயன்படுத்தி மேலே குறிப்பிட்ட எல்லா செயல் முறை உண்மைகளுக்கும், முரண்பாடற்ற, திருப்தியான விளக்கங்களைப் பெற்றார். இக் கொள்கையில் கதிர்வீச்சு என்பது $h\nu$ ஆற்றலும், ஒளியின் வேகமும் கொண்ட ஃபோட்டான்களின் பொழிவு (shower) என்று கருதப்படுகிறது. ஒரு ஃபோட்டனும் ஒரு அணுவும் மோதும்போது ஃபோட்டான் அணுவால் உட்கவரப் படுகிறது என்றும் இதன் வினைவாக ஏறத்தாழ ஃபோட்டானின் ஆற்றல் அளவே உள்ள ஒளி எலெக்ட்ரான் (photo electron) உமிழப்படுகிறதென்றும் கொள்வோம். செய்முறையில் கண்ட உண்மைகளுக்கு இதிலிருந்து மிக எளிதாக விளக்கம் பெறலாம். இத் தற்கோளினை ஐன்ஸ்டீன் பின்வரும் அமைப்பில் கூறினார்.

$$h\nu = \frac{1}{2} mv^2 + w_0$$

அல்லது $$\frac{1}{2} mv^2 = h\nu - w_0$$

இத் தொடர்பு ஐன்ஸ்டீனின் ஒளிமின் சமன்பாடு (Einstein's photo electric equation) எனப்படும். உமிழும் பொருளால் உட்கவரப்பட்ட ஃபோட்டானின் ஆற்றல் அளவு hv ஆகும். $\frac{1}{2} mv^2$ என்பது ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் w_0 என்பது உமிழும் பொருளுடன் பிணைந்துள்ள எலெக்ட்ரானைப் பிரித்தெடுக்க செலவிடப்படும் ஆற்றலின் அளவு (ஒளிமின் வேலை சார்பலன் photo electric work function) ஆகும். இது பின் வருபவை ஏன் அவ்வாறிருக்கின்றன என்பதைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன.

1. ஒளி எலெக்ட்ரானின் வேகம் கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

குறிப்பிட்ட உமிழ் பொருளுக்கு (emitter) w_0 என்பது மாருத ஒன்று. ஆகையால் படுகதிரின் அதிர்வு எண்ணுகிய v அதிகரிக்கவோ அல்லது குறையவோ செய்யும்போது hv-ன் மதிப்பு அதன் காரணமாக ஒளி எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் ($\frac{1}{2} mv^2$) மற்றும் வேகம் இவை விகிதப்படி அதிகரிக்கவோ குறையவோ செய்யும்.

2. ஒளி எலெக்ட்ரானின் வேகம் படுகதிரின் செறிவினைப் பொறுத்தது அல்ல.

படுகதிரின் அதிர்வு எண் v-ஐ மாருமல் செய்து அதனுடைய செறிவினை அதிகமாக்கினுல உமிழ் பொருளின் மேல் மோதுகின்ற ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கை மட்டுமே அதிகரிக்கிறது. அதன் விகிதத்திற்கேற்ப ஒளி மின் உமிழ்வு (photo electric emission) உண்டாக்கும் மோதல்கள் (collisions) அதிகரிக்கின்றனவே ஒழிய மோதல்களின் தன்மையில் எவ்வித வேறுபாடுமில்லை. ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் ஒவ்வொன்றும் அதே hv அளவு ஆற்றலைத்தான் பெறுகின்றன. எனவே படுகதிரின் செறிவு ஏதாயினும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் மாருமல் இருக்கிறது.

அதிக எண்ணிக்கை கொண்ட ஃபோட்டான்களும், அணுக்களும் இதில் பங்கு கொள்வதால் ஒரு அணு, ஃபோட்டானை உட்கவருவதற்கான நிகழ்திறனின் (probability) மதிப்பை மாருத ஒன்ருகக் கொள்ளலாம். படுகதிரின் செறிவு அதிகமானுல் அதிலுள்ள ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகும் என்ற கருத்தின் அடிப்படையில் பார்க்க, செறிவு அதிகரித்தால் ஒளி மின்னேட்டத்தின் (photo electric current) அளவு அதிகரிக்கும் என்பது தெரிகிறது.

3. உமிழும் பொருளின் இயல்புக்கேற்ப மாறுகின்ற தொடக்க நிலை அதிர்வு எண் என்னும் ஒன்று உண்டு.

எலெக்ட்ரான் நிலை மின் இயல்பால் (electro staticlly) உமிழ் பொருளுடன் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதால் உமிழ் பொருளால் உட்கவரப்பட்ட $h\nu$ என்னும் ஆற்றல் அளவின் ஒரு பகுதி முதலில் எலெக்ட்ரான்களை அதன் கட்டிலிருந்து (bondage) விடுவிப்பதற்குப் பயன்படுகிறது. எனவே ஒளி எலெக்ட்ரான் பாக்கியுள்ள ஆற்றல் அளவோடு மட்டுமே உமிழப்படுகிறது. படுகின்ற ஃபோட்டானின் அதிர்வு எண்ணைச் சிறிது சிறிதாகக் குறைத்துக் கொண்டே வந்தால் ஒளி எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் சிறிது சிறிதாகக் குறைந்து கொண்டே சென்று சுழி மதிப்பினை அடைகிறது. அப்போது அதன் அதிர்வு எண் மதிப்பு $h\nu_0 = w_0$ என்பதிலிருந்து பெறப்படும் ν_0 ஆகும். இதற்கும் குறைந்த அதிர்வு எண் கொண்ட ஃபோட்டான்கள் உமிழ் பொருளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை விடுவிக்க இயலாது. ஆகையால் ஒளிமின் உமிழ்வு நடைபெற முடியாது. எனவே படுகதிருக்கு ஒரு மாறுதான அதிர்வு எண் ν_0 (critical frequency) என்ற ஒன்று இருத்தல் வேண்டும்—இதற்குத் தொடக்க நிலை அதிர்வு எண் (threshold frequency) என்று பெயர்.—இந்த அதிர்வு எண்ணைவிட பெரிய அதிர்வு எண்ணுக்கு மட்டுமே ஒளிமின் உமிழ்வு நடைபெறும். வெவ்வேறு உலோகங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் பிணைப்பு நிலை (degree of bondage) காரணமாகவே உலோகத்திற்கு உலோகம் தொடக்க நிலை அதிர்வு எண் மாறுகிறதெனக் கூறப்பட்டுள்ளது.

4. இம் முறையில் கால-இழப்பு (Time-loss) இல்லை :

ஏனெனின் இந் நிகழ்ச்சி ஃபோட்டான் மற்றும் அணு என்னும் இரு துகள்களுக்கு இடையே ஏற்படும் விளைவு எனக் கருதப்படுகிறது. இவ்வாறு ஒளிமின் விளைவின் ஒவ்வொரு தற்சிறப்புப் பண்பும் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில் போதுமான விளக்கம் பெறுகின்றன.

ஐன்ஸ்டீன் கூறிய ஒளிமின் சமன்பாட்டினைச் செயல் முறையில் தெளிதல் மில்லிகன் முறை (Millikan's experiment) :

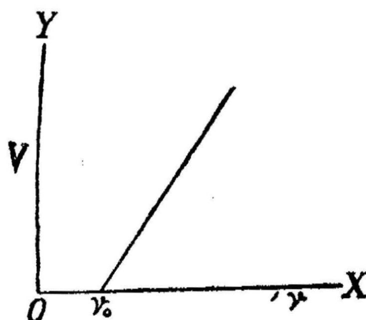
1916-ல் மில்லிகன், ஐன்ஸ்டீன் கூறிய ஒளிமின் சமன்பாட்டினை (photo electric equation) செயல் முறையில் தெளிவதில் ஈடுபட்டார். அவருடைய செய்முறை, நிறுத்தும் மின் அழுத்தம் (stopping potential) எனப்படும் ஒன்றை அடிப்படையாகக் கொண்டது. $\frac{1}{2} mv = h\nu - w_0$ என்னும் ஐன்ஸ்டீனின்

சமன்பாட்டிலிருந்து V என்னும் அதிர்வு எண்உடைய ஒளி பட்ட தால், உலோக தளத்திலிருந்து விடுபடும் ஒளி எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் $h\nu - w_0$-க்குச் சமம் என்று அறிகிறோம். இந்த ஆற் றலின் அளவு ev ஆகும். ஒளி எலெக்ட்ரான் உமிழ் பொருளி லிருந்து நீங்காமலிருக்க உமிழ் பொருளுக்கும் சேமிப்பு முனைக்கும் (collecting electrode) இடையே பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்த பேதம் v ஆகும். சேமிப்பு முனையை நோக்க, உமிழ் பொருள் (cmiitter) நேர் அழுத்தமுடையதாக வைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே v என்பது உமிழ் பொருளின் தளத்திலிருந்து எலெக்ட் ரான் வெளியேருமல் நிறுத்துவதற்காக பயன்படுத்தப்படுவதால் "நிறுத்தும் மின்னழுத்தம்" (Stopping potential) என்றழைக்கப் படுகிறது. இந்த அளவை வைத்து ஐன்ஸ்டீனின் சமன்பாட்டினை எழுத

$$eV = \tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - w_0$$

$$V = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{w_0}{e}$$

ஒரு குறிப்பிட்ட உமிழ் பொருளுக்கு w_0 என்பது மாருத ஒன்ருகும். h மற்றும் e என்பவைகளும் மாருதவையே ஆகும். எனவே மேற் கூறிய சமன்பாடு, நிறுத்தும் மின்னழுத்தமாகிய V-க்கும் கதிர் வீச்சின் அதிர்வு எண்ணுகிய ν-க்கு மிடையே உள்ள நேர் விகிதத்



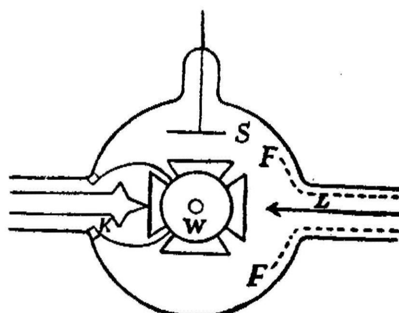
படம் 141.

நிறுத்தும் மின்னழுத்தத்திற்கும் அதிர்வு எண்ணுக்குமான வரைபடம்

தொடர்பினைக் குறிக்கிறது. ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு சரியென்ருல் ν-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கான V-ஐ அளந்து, V-க்கும் ν-க்குமான புள்ளிகளைக் குறிக்க படம் 141-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற நேர்க்கோடு கிடைக்கவேண்டும். மேலும் ν ஆயத் துண்டு (ν intercept) ν_0 என்னும் தொடக்க நிலை அதிர்வு

எண்ணைத் தருதல் வேண்டும். அதிலிருந்து ஒளியின் வேலை சார்பலனாகிய (photo electric work function) $w_0 = h\nu_0$ என்பதைக் கணக்கிடலாம். இந் நேர்க்கோட்டின் சாய்வு (அதாவது $\tan\theta$) ν-ன் குணிதத்தைத் (coefficient) அதாவது $\left(\frac{h}{e}\right)$-ஐ — தருகிறது. e-ன் தெரிந்த மதிப்பினைக் கொண்டு பிளாங்கின் மாறிலியாகிய h-ஐ கணக்கிட இது வழி வகுத்தது. இவையெல்லாம் ஒழுங்காக வந்தால் ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு தெளியப்பட்டதாகும். ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் மதிப்பு நிலைநிறுத்தப்பட்டதாகும்.

படம் 142-ல் மில்லிகளின் கருவியின் அமைப்புக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. சாதாரண ஒளிக்குக்கூட ஒளியின் உமிழ்வு (photo electric emission) உண்டாவதால், காரவகை உலோகங்கள் (Alkali metals) உமிழ் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. W என்னும் சக்கரம் ஒன்றின் விளிம்பில் சோடியம், பொட்டாசியம் அல்லது லிதியத்தினால் ஆன உருளைக் கட்டிகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. அத் துண்டுகளின் மேற் பரப்புகள் K என்னும் சுழலும் கத்தி முனையை (knife edge) நோக்கியோ அல்லது L என்னும் கதிர்வீச்சினை நோக்கியோ, அல்லது S என்னும் சோதனைத் தகட்டினை (test plate) நோக்கியோ திருப்பக்



படம் 142. மில்லிகனின் கருவி

கூடியவாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவ் வுலோகங்கள் எளிதில் ஆக்சைடாகி விடுமாகையால் இச் செய்முறை வெற்றிடக் குழாயினுள் செய்யப்படுகிறது. மேலும் உலோக தளங்கள் K என்னும் கத்தி முனையால் சுரண்டப்பட்டுப் புதிய தளங்கள் (fresh surface) பெறப்படுகின்றன. நிறமாலை காட்டியைக் (spectro scope) கொண்டு பெறப்பட்ட ஒரு நிற ஒளி (monochromatic light) L என்னும் இடத்தின் வழியாக வெற்றிடக் குழாயில் நுழைந்து

எப்போதும் புதிதாய் விளங்கும் உலோகத் தளத்தின் மேல் விழுந்து ஒளியூட்டுகின்றன. ஒளி உணர்வு அற்ற (not photo sensitive) ஆக்சைடாக்கப்பட்ட செப்பு வலையினாலான FF என்னும் பாரடே உருளை (faradays cylineder) சேமிப்பு முனையாக உமிழும் தளத்திற்கு எதிர்ப்பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எலெக்ட்ரான்களில் எதுவும் சேமிக்கும் முனையை அடையாமலிருக்கச் செய்வதற்கு ஏற்ற அளவில் உமிழும் தளத்தை நேர்மின்னழுத்தம் (postive potential) கொள்ளச் செய்வதன் மூலம், விடுவிக்கப்படும் ஒளியின் எலெக்ட்ரான்களின் நிறுத்தும் மின்னழுத்தம் (stopping potential) அளவிடப்படுகிறது. பாரடே உருளை ஒரு மின் அளவியுடன் (electrometer) இணைக்கப்பட்டு ஏதாவது மின்னூட்டம் அதை அடையுமானால் அதைக் காட்டும் கருவியாகப் பயன்படுகிறது. மின்னளவியல் சுழி மின்னோட்டம் (zero current) செல்லும் போது உமிழ் பொருளில் (emitter) பயன்படுத்தப்படும் நேர் மின்னழுத்தமே, நிறுத்தும் மின்னழுத்தமாகும்.

சிவப்பு முதல் ஊதா வரையிலான எல்லா ஒளிகளைக் கொண்டும் இச் செயல்முறை செய்யப்பட்டு ஒவ்வொன்றிற்கும் உரிய நிறுத்தும் மின்னழுத்தம் அளவிடப்பட்டது. சேமிப்பு முனையாகப் பயன்படுத்திய உலோகமும், உமிழ் பொருளாகப் பயன்படுத்திய உலோகமும் வேறு வேறானவை. ஆகையால் அவைகளுக்கு இடையே ஏற்படும் சந்திப்பு மின் வேற்றுமையைக் (contact $P.\ d$) கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. Vc என்பது சந்திப்பு மி.வே. என்றும் Vs என்பது எலெக்ட்ரானை நிறுத்தப் பயன்படும் உண்மை எதிர்ப்பு மின்னழுத்தம் என்று கொண்டால் செய்முறை மூலம் கண்ட மின்னழுத்தம் $V = Vc + Vs$ (கூட்டுத் தொகை) செய்முறைக் கட்டுப்பாட்டினை விளக்கும் சமன்பாடு பின்வருமாறு அமைகிறது.

$$e\ (Vc + Vs) = hv - w_0$$

மில்லிகன் இச் சமன்பாட்டினைச் செய்முறையில் தெளிந்தார். $(Vc + Vs)$ என்னும் அளவு, உலோகப் பரப்புக்கும், சோதனைத் தகடு S-க்கும் இடையே உள்ள மின்னழுத்தத்தை அளந்து நேரடியாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. பாரடே உருளை செய்யப்பட்ட உலோகத்தாலேயே செய்யப்பட்ட S என்னும் சோதனைத் தகடு அதைப் போன்றே இரசாயனப் பதப்படுத்தப்பட்ட பரப்பினை உடையது.

$(Vc + Vs)$-க்கும் v-க்குமான புள்ளிகளைக் குறித்து, மில்லிகன் நேர்க்கோடு ஒன்றை அடைந்தார். இக் கோடு v ஆயத்தில் ஏற்படுத்திய துண்டம் ஒளியின் வேலை சார்பலன் (photo electric

work function) மற்றும் சந்திப்பு மின்னழுத்தம் இவற்றின் கூடுதல் மதிப்பினைப் பெற வழி செய்தது. கெல்வின் செய்த மின்னழுத்த அளவியின் (potentiometer) உதவியால் சந்திப்பு மின்னழுத்தத்தைத் தனியாக அளந்து அதைக் கொண்டு மில்லிகன் ஒளியின் வேலை சார்பலனைக் கணக்கிட்டார். இம் முறையில் கண்ட மதிப்பு மற்ற முறைகளில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட மதிப்புகளுடன் ஒப்ப இருந்தது. நேர்க்கோட்டின் சரிவை (slope) அளந்து $\left(\frac{h}{e}\right)$-ன் மதிப்புக் கணக்கிடப்பட்டது. e-ன் தெரிந்த மதிப்பினைப் பதிலீடு (substitute) செய்து h-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிட்டார். h-ன் மதிப்பு $(6{\cdot}57 \pm {\cdot}01)10^{-27}$ எனக் கண்டார். இம் முறையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட h-ன் மதிப்பு மற்ற முறைகளின் மூலம் கண்ட h-ன் மதிப்புடன் பெரிதும் ஒப்ப இருந்தது. இவ்வாறு ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அமைந்த ஐன்ஸ்டீனின் சமன்பாடு செய்முறை மூலம் தெளியப்பட்டது.

காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect) :

ஒரு பொருளின் ஊடே எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றைச் செல்வதால் உண்டாகும் இரண்டாம் நிலைக் கதிர்வீச்சு (secondary radiation) இரு உறுப்புகளைக் கொண்டிருப்பது தெரிந்தது.—ஒன்று முதல் கற்றையைப் (primary beam) போன்ற அலைநீளம் கொண்டதாகவும் மற்றது முதற் கற்றையின் அலை நீளத்தைவிட அதிக அலை நீளம் உடையதாகவும் இருந்தன. முன்னரே குறிப்பிட்டதுபோல முதல் உறுப்பு மாற்றப்படாத சிதறல் கதிர்வீச்சு (unmodified scattered radiations) அல்லது ஓரினச் சிதறல் (coherent scattering) என்றும் மற்றது மாற்றப்பட்ட சிதறல் கதிர்வீச்சு (modified scattered radiation) அல்லது ஓரினமற்ற சிதறல் (incoherent scattering) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

எக்ஸ்-கதிரின் சிதறலுக்குத் தொன்மை மின்காந்த அலைக் கொள்கையை ஜே. ஜே. தாம்சன் என்பார் பின்வருமாறு பயன் படுத்தினர். எக்ஸ்-கதிர்கள், சிதறச் செய்யும் பொருளின் எலெக்ட்ரான்களின் மேற்பட்ட, அவை மின் ஏவரை செயலினுல் (action of electric vector) ஆற்றலை வெளியிடுகின்றன. அதாவது சிதறப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களைப் பல திசைகளிலும் அனுப்புகிறது. முதற் கற்றையின் செயலினுல் ஏற்படும் வலிந்த அதிர்வுகளினுல் எலெக்ட்ரான்கள் சிதறுவதால் அவ்வதிர்வுகளால் ஏற்பட்ட சிதறிய அலைகளின் அதிர்வு எண், படுகற்றையின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாதல் வேண்டும். இதன் அடிப்படையில் பெறப்பட்ட வாய்பாடு பின்வரும் உண்மைகளைக் காட்டியது.

(1) படுகற்றையின் அதிர்வு எண் எதுவோ அதுவே சிதறிய எக்ஸ் கதிர்களின் அதிர்வு எண்ணாக இருத்தல்வேண்டும். (ஓரினச் சிதறல்).

(2) σ என்னும் சிதறல் எண் (scattering coefficient) படுகதிர் வீச்சின் அலை நீளத்தைப் பொறுத்தது அல்ல. அது 0·2 என்னும் மாறாத மதிப்பை உடையது.

(3) செறிவுப் பங்கீட்டைப் (intensity distribution) பொறுத்தவரை சிதறிய கதிர்வீச்சுச் சமச்சீரமைவு கொண்டிருத்தல் வேண்டும்.

கடின எக்ஸ்-கதிர்கள் மற்றும் γ கதிர்கள் போன்ற உயர் அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சுகளின் சிதறல் பற்றிய செய்முறை ஆய்வுகள் மேற்கூறிய தொன்மைக் கொள்கையின் முடிவுகளோடு முரண்பட்டன. சிதறிய கதிர்வீச்சில் படுகதிர் வீச்சின் அலைநீளத்தைவிட அதிக அலைநீளமுடைய ஒரு வலுவுள்ள கூறு (strong component) காணப்பட்டது. குறிப்பாகக் குறைந்த அணு எண் கொண்ட சிதறச் செய்பொருள்களில் (scatterers) இது காணப்பட்டது. சிதறல் எண்ணாகிய σ படுகதிர் வீச்சின் அலை நீளத்தைப் பொறுத்து மாறுபட்டது. அலைநீளம் குறையக் குறைய சிதறல் எண்ணின் மதிப்பும் குறைந்தது. சிதறிய கதிர் வீச்சின் செறிவுப் பங்கீடு சரிச்சீரமைவு கொண்டதாக இல்லை. சிதறல் முன்னோக்கியே நிகழ்கிறது. அதாவது படுகதிரின் திசையிலேயே சிதறலும் நடைபெறுகிறது.



பேராசிரியர் A. H. காம்ப்டன்

1922-ல் காம்ப்டன் ஓரினமற்ற சிதறல் (incoherent scattering) பற்றிய உண்மைகளுக்கு ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில் போதிய விளக்கமொன்றைத் தந்தார். அவர் ஃபோட்டானுக்கும், சிதறச் செய்பொருளின் (scatterer) எலெக்ட்ரானுக்குமிடையே ஏற்படும் மீண்டெழும் மோதலின் (elastic collision) விளைவாகச் சிதறல் நிகழ்ச்சி ஏற்படுகிறது எனக்

கருதினர். $h\nu$ அளவு ஆற்றலுடைய ஒரு ஃபோட்டான் ஒரு எலெக்ட்ரானுடன் மோதினல் அது எலெக்ட்ரானுக்கு இயக்க ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. எனவே அது கொஞ்சம் ஆற்றலை இழக்கிறது. ஆகவே சிதறிய ஃபோட்டான் குறைந்த அளவுள்ள $h\nu'$ என்னும் ஆற்றல் உடையதாக இருக்கும். அதனுல் படுகற்றையின் ஃபோட்டானைவிட குறைந்த அதிர்வு எண் கொண்டதாக அல்லது அதிக அலை நீளங்கொண்டதாக இருக்கும். சிதறிய கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எண்ணில் காணப்பட்ட மாறுதல் அல்லது அலைநீளத்தில் காணப்பட்ட வேறுபாடு காம்ப்டன் விளைவு எனப்படும். ஒளியின் விளைவில் காணப்படும் கதிரியக்க உட்கவர்தல் பற்றி மட்டுமல்லாது, கதிர்வீச்சுத் தங்குதடையின்றி வெளிவழியாகச் செல்லும்போது ஏற்படும் உட்கவர்தல் பற்றியும் ஆற்றலின் அளவினை வரையறுப்பது மட்டுமன்றி, கதிர்வீச்சுப் பற்றிய துகள் அமைப்பை நன்கு சித்தரிக்கும் மோதப்பாடு பற்றியும் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் நிலையினை அறியும் இறுதிச் சோதனையாக இவ்விளைவு அமைகிறது.

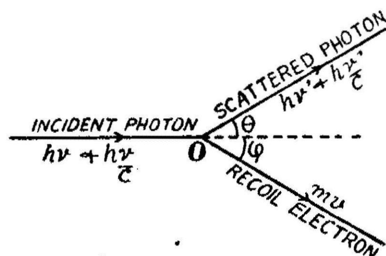
காம்ப்டன் கொள்கை :

சிதறல் நிகழ்ச்சியினை ஒரு ஃபோட்டானுக்கும் ஒரு எலெக்ட்ரானுக்கும் இடையே நிகழும் மீண்டெழு மோதல் எனக்கொண்டு, ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் அழியாச் சட்டங்களைப் பயன்படுத்தி இந் நிகழ்ச்சியில் ஏற்படும் அலைநீள மாற்றத்தைக் குறிக்கும் கோவை (expression) ஒன்றைக் காம்ப்டன் பின்வருமாறு பெற்ருர்.

எளிமை கருதி, மோதப்பாடு ஏற்படுவதற்கு முன்பு எலெக்ட்ரான் கட்டுப்பாடற்ற நிலையில் (free) அசையாது இருப்பதாகக் கொள்வோம். சிதறலில் பங்குகொள்ளும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஒளியின் வேகத்தோடு ஒப்பிடும் அளவு வேகங் கொடுக்கும் உயர் அதிர்வெண் (high frequency) கொண்ட கதிர்வீச்சுகளுக்குங்கூட பொருந்தும் வகையில் பொதுவான கொள்கை ஒன்றை உருவாக்குவதில் சார்பு இயக்கவியலை (relativistic dynamics) பயன்படுத்துதல் வேண்டும்.

O என்னும் இடத்தில் அசையாது இருக்கும் ஒரு எலெக்ட்ரானை ஒரு ஃபோட்டான் மோதுவதாகவும், மோதலுக்குப்பின் அவை படம் 143-ல் காட்டியுள்ள திசைகளில் செல்வதாகவும் கொள்வோம். $h\nu$ மற்றும் $\frac{h\nu}{c}$ என்பன முறையே படுகின்ற ஃபோட்டானின் (incident photon) ஆற்றல் மற்றும் மோதப்பாடு இவற்றைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். மோதலுக்கு முன்பு

எலெக்ட்ரான் அசையா நிலையில் இருப்பதாகக் கொண்டுள்ளதால் சார்பியல் கொள்கைப்படி அதன் ஆற்றல் m_0c^2 ஆகும். மோதப்-



படம் 143

பாடு சுழி (zero) ஆகும். மோதலுக்குப் பின்னர் எலெக்ட்ரானின் மீண்டெழு வேகம் (velocity of recoil) v என்றால், அதற்குரிய

நிறை $$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$ ஆகும்.

மீண்டெழும் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்

$$mc^2 = \frac{m_0c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$ ஆகும்.

அதன் உந்தம் $$mv = \frac{m_0v}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$ ஆகும்.

சிதறிய ஃபோட்டானும், மீண்டெழும் எலெக்ட்ரானும் படுகின்ற ஃபோட்டானின் திசையிலிருந்து முறையே θ மற்றும் ϕ கோணங்களில் சாய்ந்து செல்வதாகக் கொள்வோம்.

ஆற்றல் மற்றும் மோதப்பாடு அழியாச் சட்டங்களைப் பயன் படுத்தி பின்வரும் தொடர்புகளைப் பெறுகிறோம்.

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\frac{h\nu}{c} + 0 = \frac{h\nu'}{c}\cos\theta + mv\cos\phi \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$0 = \frac{h\nu'}{c}\sin\theta - mv\sin\phi \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

அதிர்வு எண்ணில் ஏற்படும் மாறுதலை அளவிட (2) மற்றும் (3) இவைகளிலிருந்து ϕ-ஐ நீக்குதல் வேண்டும்.

(2) மற்றும் (3) ஆகிய சமன்பாடுகளை எடுத்துக் கொள்ளுவோம்.

$$mvc \cos\phi = h(\nu - \nu' \cos\theta)$$

$$mvc \sin\phi = h\nu' \sin\theta$$

இவைகளை இருமடி ஆக்கி (squaring) கூட்ட,

$$m^2v^2c^2 = h^2(\nu^2\ 2\nu\nu' \cos\theta + \nu'^2 \cos^2\theta + \nu'^2 \sin^2\theta)$$

$$= h^2(\nu^2 - 2\nu\nu' \cos\theta + \nu'^2) \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து

$mc^2 = h(\nu - \nu') + m_0c^2$ என்பதைப் பெறுகிறோம். அல்லது,

$$m^2c^4 = h^2(\nu^2 - 2\nu\nu' + \nu'^2) + 2h(\nu - \nu')m_0c^2 + m_0{}^2c^4 \ldots (5)$$

(5)-லிருந்து (4)-ஐ கழிக்க.

$$m^2c^2(c^2 - v^2) = 2h^2\nu\nu'(1 - \cos\theta) + 2h(\nu - \nu')m_0c^2 + m^2{}_0c^4$$

அதாவது, $$\frac{m_0{}^2c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}(c^2 - v^2) = \frac{m_0{}^2c^2}{c^2 - v^2}(c^2 - v^2)c^2$$

$$= m_0{}^2c^4$$

$$= -2h^2\nu\nu'(1 - \cos\theta) + 2h(\nu - \nu')m_0c^2 + m_0{}^2c^4$$

$$2h(\nu - \nu')m_0c^2 = 2h^2\nu\nu'(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{\nu - \nu'}{\nu\nu'} = \frac{h}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu} = \frac{h}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)$$

அல்லது $$c\left(\frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu}\right) = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$$

அதாவது $$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$\therefore \quad \lambda' = \lambda + \frac{2h}{m_0c} \cdot \sin^2\frac{\theta}{2}.$$

இதிலிருந்து சிதறிய ஃபோட்டானின் அலைநீளமாகிய λ' படுகின்ற ஃபோட்டானின் அலை நீளமாகிய λ-வை விட பெரிது என்பது தெரிகிறது. அலை நீள மாறுபாடாகிய

$$d\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_0 c} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

என்றுகிறது. இத் தொடர்பில் λ வோ அல்லது சிதறச் செய்யும் பொருளின் தன்மைகளோ வராததால் அலை நீளத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் படுகதிர்வீச்சின் அலை நீளத்தையோ அல்லது சிதறச் செய் பொருளின் தன்மையையோ பொறுத்தது அல்ல என்பது தெரிகிறது. ஆனுல் இது சிதறல் கோணமாகிய (scattering angle) (θ)-வைப் பொறுத்திருக்கிறது. $\sin^2 \frac{\theta}{2}$ அதிகமாக அதிகமாக அலை நீள மாறுதலும் ($d\lambda$) அதிகமாகிறது. $\theta = 0$ ஆக இருக்கும் போது $\lambda' = \lambda$ ஆகிறது $\theta = 90°$ ஆக இருக்கையில் $\sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2}$ ஆகிறது ஆகவே $d\lambda = \frac{h}{m_0 c}$ ஆகிறது. இது ஒரு மாறிலி (constant) h, m_0 மற்றும் c இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைக்கொண்டு இந்த மாறிலியைக் கணக்கிடலாம். அதன் மதிப்பு $0{\cdot}0242 A°$ எனக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டிருக்கிறது. இதற்குக் காப்டன் அலை நீளம் (compton wave length) என்று பெயர். ஐன்ஸ்டீன் கூறிய சமநிலை விதிப்படி $\frac{12345}{0{\cdot}0242}$ வோல்ட் அல்லது $0{\cdot}51$ மில்லியன் வோல்ட் என்பது இதற்குரிய ஆற்றலின் மதிப்பாகும். இது எலெக்ட்ரானின் தன் ஆற்றல் (self energy) அளவே ஆகும். $\theta = 180°$ ஆகும்போது $d\lambda = \frac{2h}{m_0 c}$ அதாவது இரு மடங்கு காம்ப்டன் ஆலை நீளமாகிறது. எனவே θ-ன் மதிப்பு $0°$-லிருந்து $180°$ ஆக மாறிச் செல்லும்போது சிதறிய ஃபோட்டானின் அலை நீளம் λ-ல் இருந்து $\lambda + \frac{2h}{m_0 c}$-க்கு மாறிச் செல்கிறது. ஆனுல் படுகதிரின் அலை நீளம் போதிய அளவு சிறிதாக இருந்தால் மட்டுமே இவ்வாறு நிகழும். அவ்வாறு சிறிதாக இல்லாவிட்டால் தொன்மைக் கொள்கை யூகித்தது போலவே அலை நீளத்தில் எவ்வித மாறுதலும் ஏற்படாது.

மோதலுக்கு முன்பு எலெக்ட்ரான் கட்டுப்பாடற்ற நிலையில் அசையாது இருக்கின்றது என்று நாம் கொண்ட தற்கோள்களை (assumption) நோக்கின் அவை உண்மை நிலையை எடுத்துக்

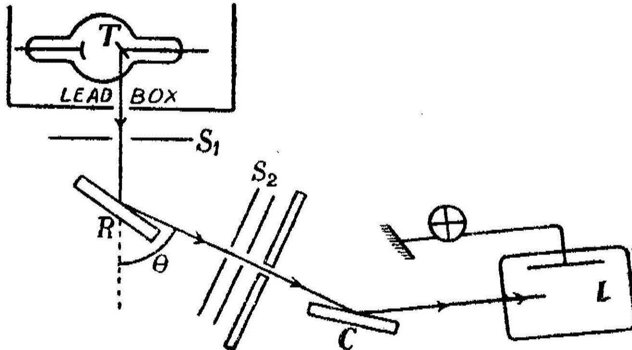
காட்டுவனவாக இல்லை. முதலாவதாக எலெக்ட்ரான்கள் கட்டுப் பாடற்ற நிலையில் இல்லை. அவை அணுவுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அணுவிலிருந்து எலெக்ட்ரானைப் பிரிக்குமளவுக்குப் போதிய ஆற்றல் படுகின்ற ஃபோட்டானுக்கு (incident photon) இல்லையென்றால், மோதல் அளவுக்கும் போட்டானுக்கும் இடையே ஏற்படுவதாக எண்ணிக் கொள்ளலாம். $d\lambda$-க்கு உள்ள கோவையில் எலெக்ட்ரானின் பொருண்மையைவிட அதிக மதிப்புடைய அணுவின் பொருண்மையைப் பதிலீடு செய்தால் அலை நீளத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் அளக்க முடியாத அளவுக்கு மிகக் குறைந்து விடுமென்பது எளிதில் புலப்படும். இந் நிலையில் சிதறிய கதிர் வீச்சில் மாறுபாடு ஏதும் நிகழாது. ஆகவே மாறுபாடில்லாத வரிகள் தோன்றும். குறிப்பாக, θ-வின் மதிப்புக் குறைவாக இருக்கும்போது அவைகளைக் காண இயலும். அணுவோடு இலேசாகப் பிணைக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் அணுவிலிருந்து வெளியே தள்ளப்படுவதால் அவ்வகை எலெக்ட்ரான்களோடு ஏற்படும் சில மோதல்களினால் அதே சிதறச் செய்யும் பொருள் (scatterer) சிதறிய கதிர்வீச்சில் மாறுபட்ட வரிகளைத் தோன்றச் செய்கிறது. மற்ற மோதல்களில் போதுமான ஆற்றல் இல்லாத ஃபோட்டான்களால் வெளியேற்ற முடியாதவாறு எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்களோடு பிணைக்கப்பட்டிருக்கக்கூடும். எனவே அலைநீள மாறுதல் ஏற்படுவதில்லை. ஆகவேதான் மாறுபாடற்ற வரிகள் தோன்றுகின்றன. வெவ்வேறு சிதறச் செய்யும் பொருள்களை எண்ணிப் பார்க்கையில் இலேசாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ள எலெக்ட்ரான்களை உடைய தனிமங்களுக்கு நல்ல செறிவுள்ள மாறுபட்ட அலை நீளமுடைய வரிகளும் ஆனால் வலுவாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட கனமான தனிமங்களுக்கு மாறுபாடற்ற வரிகள் நல்ல செறிவு உள்ளவையாகவும் இருக்கின்றன. சிதறச் செய்யும் பொருள்களை அவைகளின் அணு எண் ஏற்ற வரிசையில் நோக்கும்போது அவைகளில் மாறுபாடற்ற வரிகளின் செறிவு அதிகமாகிக் கொண்டே போகும். அதே நேரத்தில் மாறு பாடற்ற வரிகளின் செறிவு குறைந்து கொண்டே போகும்.

இரண்டாவதாக எலெக்ட்ரான்கள் அசையாதிருப்பதில்லை.— அவை இடைவிடாத இயக்கத்தில் உள்ளன. உள் மட்டத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் அதிக வேகத்தோடும் வெளிமட்டத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் குறைந்த வேகத்தோடும் செல்கின்றன என்று காட்டலாம். அதிக வேகத்தோடு இயங்கும் உள் எலெக்ட்ரான்கள் மாறுபாடற்ற வரியின் பக்கத்தில் அகலமான வரிப் பட்டை ஒன்றையும் தருகின்றன என ஜான்சி (Jauncey) என்பவர் கூறினார். இவ்வாறான வரிப்பட்டைகள் சிதறிய கதிர்வீச்சில் உண்மையில் காணப்பட்டன.

சிதறிய கதிர்வீச்சில் செறிவுப் பங்கீடு சரிச்சீரமைவு கொண்டதாக இல்லை யென்பதைக் காம்ப்டன் காட்டினார். முன் பக்கத்தில் மட்டும் அதாவது 0°-க்கும் 90°-க்கும் இடையில் மட்டும் சிதறல் ஏற்பட்டது. 90°-க்கும் 180°-க்கும் இடையிலான பின்பக்கச் சிதறல் ஏற்படவேயில்லை. படுகதிர் வீச்சின் (incident radiation) அதிர்வு எண் அதிகமாக அதிகமாகச் சரிச்சீரமைவின்மை அதிகமாகிறது. இவ்வாறே படுகதிர் வீச்சின் அதிர்வு எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்கச் சிதறல் எண் குறைவதும் காணப்பட்டது.

காம்ப்டன் கொள்கையைச் செயல்முறையில் தெளிதல் :

கடினமான எக்ஸ்-கதிர்களை இலேசான தனிமங்களைக் கொண்டு சிதறச் செய்து அதனால் ஏற்படும் அலைநீள மாற்றங்களை அளந்து காம்ப்டன் தனது கொள்கையினை முதன் முதலாகச் சோதித்தார். அவர் பயன்படுத்திய செயல்முறை அமைப்பு படம் 144-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின், *T* என்னும் மாலுபடினம் இலக்கிலிருந்து கிடைத்த ஒரே நிற கடின எக்ஸ்-கதிர்களை (monochromatic hard X-Rays) சிதறச் செய்யும் *R* என்னும் கார்பன் (carbon) மீது விழுமாறு செய்யப்படுகின்றன.

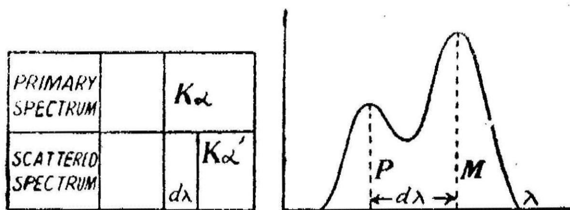


படம் 144. காம்ப்டன் கருவி

அங்கு அவை θ என்னுங் கோணத்தில் சிதறப்படுகின்றன. சிதறப்பட்ட கதிர் அதன் அலை நீளத்தை அளக்கக்கூடிய ப்ராக்ஸின் நிறமாலை அளவியிலுள்ள *C* என்னும் படிகத்தினுள் செலுத்தப்படுகிறது. நிறமாலை அளவியின் அயனியாக்க அறையினை உடனிருந்து கெடுதல் செய்யும் எல்லாவகையான விளைவுகளிலிருந்தும் காக்கும் பொருட்டு எக்ஸ்-கதிர் குழாய்க்கு ஈயப்பெட்டியும், முதல் எக்ஸ்-கதிருக்கு ஈயத்தட்டிகளும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சிதறிய எக்ஸ்-கதிரை ஒருவரிப்படுத்துவதற்குப் பல

பிளவுகள் (slits) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அயனியாக்க அறைக்குப் பதிலாக ஒளிப்படப் பெட்டியைப் பொருத்தி நேர்க் கற்றை மற்றும் சிதறிய கற்றை இவைகளின் ஒளிப்படச் சுவடு களைப் பெறலாம். எக்ஸ் கதிர்க் குழாய் மற்றும் சிதறச் செய்யும் பொருள் இவற்றை நகர்த்தி சிதறு கோணம் θ வின் அளவினை மாற்றலாம். பிளவுகளின் இடத்தையோ படிகத்தின் இடத்தையோ மாற்றாமல் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் இடத்தை மட்டும் மாற்றி முதல் கதிர் நேராகப் படிகத்தில் விழுந்து பிரதிபலிக்கப் படுமாறு செய்து முதல் கற்றையின் நிறமாலையைப் பெறலாம்.

இம் முறையில் கார்பன் துண்டைப் பயன்படுத்திப் பல்வேறு கோணங்களில் மாலுபடினம் $K\alpha$ வரியினைச் சிதறச் செய்து நிற மாலைகள் பெறப்பட்டன. படுகதிரின் அலைநீளமும் சிதறிய கதிரின் அலைநீளமும் ஒன்றாக இருப்பின் படுகதிரின் நிறமாலையும் சிதறிய கதிரின் நிறமாலையும் ஒன்றாகவே இருத்தல் வேண்டும். எனினும் படம் 145-ல் காட்டிவாறு தான் செய்த நிறமாலைப் பதிவில் $K\alpha$



படம் 145. காம்ப்டன் விளைவு

வரி மட்டுமன்றி அதிக அலைநீளப் பக்கத்தில் ($K\alpha'$) மற்றொரு வரியும் இருப்பதைக் காம்ப்டன் கண்டார். மேலும் $\theta = 90^\circ$ இருக்கும்போது மாறுபாடற்ற $K\alpha$ வரியின் அலைநீளம் 0·708A° ஆகவும் மாறுபாடுற்ற $K\alpha'$ வரியின் அலைநீளம் 0·730A° ஆகவும் இருப்பதைக் கண்டார். இவை இரண்டிற்கும் உள்ள அலைநீள வேறுபாடு 0·022A° இவ்வேறுபாடு கொள்கை அளவில் கணக்கிட்ட 0.024A° என்னும் வேறுபாட்டுடன் பெரிதும் ஒப்ப இருந்தது. சிதறு கோணம் θ அதிகமாக அதிகமாக அலைநீள வேறுபாடும் விரைவாக அதிகமாவது தெரிந்தது.

$d\lambda$-வின் மதிப்பு λ வைப் பொறுத்தது அல்ல என்பதும் செய் முறையில் தெளியப்பட்டது. காம்ப்டன் மற்றும் ராஸ் (Compton, Ross) ஆகிய இருவரும் மாலுபடினம் K_β வரிக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட சிதறல் கோணத்தில் ஏற்படும் $d\lambda$ அதே கோணத்திற்கு $K\alpha$ வரிக்கு எவ்வளவு இருந்ததோ அதே அளவுக்குச் சமமாக

இருப்பதை ஒளிப்பட முறையைப் பயன்படுத்திக் கண்டனர். மேலும் கொள்கைப்படி θ-வின் மதிப்பினை மாற்றுமல் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் இலக்கினை மாற்றிஞலும் $d\lambda$-ன் மதிப்பில் மாறுதல் ஏற் படுதல் கூடாது. டியுமாண்ட் (Du Mond) மற்றும் கிர்க்பாட்டிரிக் (Kirkpatrick) ஆகிய இருவரும் மாலிபடினம், வெள்ளி மற்றும் டங்ஸ்டன் ஆகியவற்றுலான இலக்குகளைப் பயன்படுத்தி மேற் கூறிய உண்மையை மெய்ப்பித்தனர். ஒரு குறிப்பிட்ட சிதறல் கோணத்தில் பல்வேறு சிதறச் செய்யும் பொருள்களைக்கொண்டு சிதறல் உண்டாக்கி வூ (woo) என்பார் $d\lambda$ என்பது மாருமல் இருக்கிறதென்று காட்டிஞர். இதிலிருந்து $d\lambda$ என்பது சிதறச் செய்யும் பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்தது அல்ல என்பது தெளிவாகிறது. ஆனல் மாறுபாடுற்ற வரிகளின் செறிவு சிதறச் செய்யும் பொருள்களின் அணு எண்ணுக்கு ஏற்ப மாறுபடுவது காணப்பட்டது. அணு எண் அதிகமாஞல் மாறுபாடற்ற மிகக் குறைந்த அளவிலும் மாறுபாடற்ற கதிர் மிக அதிக அளவிலும் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டு: லிதியத்தைக் கொண்டு சிதறல் உண்டாக்கியபோது சிதறிய கதிர்வீச்சு முழுவதும் மாறுபாடுற்ற தாக இருந்தது. ஆனல் வெள்ளியைக் கொண்டு சிதறல் ஏற்படுத்தியபோது மாறுபாடுற்ற கதிர்களே இல்லை என்று கூறலாம்.

இவ்வாறு செயல் முறைகள் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட உண்மைகள் காம்ப்டன் கொள்கையின் உண்மைத் தன்மை யினையும் பொதுவாகக் கதிர் வீச்சுப்பற்றிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் சிறப்பினையும் ஐயத்திற்கிடமின்றி நிலை நாட் டியது.

III பொருளின் அலையியல்பு

ஆற்றல் முடிக்சுக் கொள்கை வந்தபின்பு பௌதிக அறிஞர் கள் ஆற்றல் வீச்சின் (radient energy) அலை மற்றும் துகள் இயல்பு களான இரட்டைத் தன்மையை (dual nature) ஒப்புக்கொள்ள வேண்டியவர்களாஞர்கள். 1924 பிரான்ஸின் பௌதிக அறிஞர் லூயி டி ப்ராய் (Louis de Broglie) என்பார் மிகத் துணிவாகக் கதிர்வீச்சினைப் போன்றே பொருளும் இரட்டைப் பண்பு கொண்டது என்னும் துணிவான கருத்தைக் கூறியபோது மேற் கூறியது போன்ற ஒரு நிலைப் பொருளுக்கும் ஏற்பட்டது. அதாவது சாதாரண நிலையில் தனித்தனி துகள்களால்—மூலக்கூறுகள் அணுக்கள், புரோட்டான்கள், எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் இவை போன்றவைகளால் — ஆகியிருப்பதாகக் கருதப்படும் பொருள், தக்க சூழ்நிலைகளில் அலையியல்பினைக் காட்டக்கூடும்.

கதிர்வீச்சின் இரட்டை இயல்புபற்றிய கருத்தின் முரண்பாடுகளை நீக்க முயன்று கொண்டிருந்தவர்களுக்கு மேற்கூறிய விந்தையான கருத்து பெரும் ஆறுதலும், ஊக்கமும் தந்தது. ஏனெனில் சார்புக் கொள்கை கூறிய பொருண்மை ஆற்றல் தொடர்பினைப் போலவே டி ப்ராயில் கூறிய பொருள் அலைகளும், (matter waves) தொன்மைப் பௌதிகம் பொருளுக்கும் ஆற்றலுக்குமிடையே ஏற்படுத்தியிருந்த கடக்கரிய பிளவுக்குப் பாலமிடக்கூடியதாக விளங்கிற்று, அவை இரண்டும் ஒரே வகையான இரட்டைப் பண்பு பெற்றிருத்தலின் அவையிரண்டிற்கும் குறிப்பிட்ட இணைப்பு காண முடிந்தது. ஆனுல் கூறிவிடுவதுபோல அவை இரண்டையும் இணைப்பது என்பது எளிதான ஒன்று அல்ல.



பேராசிரியர் லூயி-டி-ப்ராய்

எவ்வாறுயினும் விஞ்ஞானிகள் தெள்ளிய கணிதக் கொள்கைகளைக் கொண்டு டி-ப்ராயில் கூறிய முக்கிய கருத்தினை ஆராய்ந்தனர். நுட்ப மிக்க செயல்முறை ஆராய்ச்சிகள் நடத்தினர், இவ்வாறு புதுமைப் பௌதிகத்தில் ருசியான ஆனுல் கடினமான ஒரு அத்தியாயம் துவங்கிற்று. இது பல வகைகளில் உழைத்துக் கண்ட கொள்கைகளை தன்னகத்தே கொண்டிருக்கிறது. இந்த அத்தியாயம் 'பொருள் அலைகளுக்கு' வலிவுள்ள கணித அடிப்படை தருகின்ற ஹெய்சன் பாக் குவான்ட விசையியல் (Heisenberg's Quantum mechanics) மற்றும் ஷ்ராடிஞ்சரின் அலைவிசை (Schoedinger's wave mechanics) ஆகியவற்றையும், பொருளுடன் அலைகள் சேர்ந்தே இருக்கின்றன என்பதற்கான செய்முறைச் சான்றுகளைத் தருகின்ற, எலெக்ட்ரான்கள் புரோட்டான்கள் போன்ற மற்ற மற்ற துகள்களில் ஏற்படுகின்ற விளிம்பில் விலகல் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் ஆகியவை இடம் பெறுகின்றன.

டிப்ராயில் கூறிய பொருள் அலைகள் (Matter waves)

ஒளிக் குவான்டங்கள் (light quanta) அல்லது ஃபோட்டான்களின் அடிப்படையில் அமைந்த கதிர்வீச்சுக் கொள்கை ஒன்றை

உருவாக்கும் முயற்சியில் ஈடுபட்டிருந்தபோது லூயி-டி-ப்ராயி லுக்குப் 'பொருள் அலைகள்' பற்றிய கருத்து தோன்றியது. அக் கருத்து அவருக்குத் தோன்றுவதற்குப் பின்வருவன காரணங் களாய் அமைந்தன.

(i) இயற்கை சரிசீரமைவு உள்ளது

இக் கோட்பாட்டின்படி இயற்கை தன்னை வெளிப்படுத்திக் கொள்ளும் வழிகளான பொருள் மற்றும் கதிர்வீச்சு என்பவை ஒன்றுக்கொன்று சரிசீரமைவு கொண்டவைகளாக இருத்தல் வேண்டும். கதிர்வீச்சு, அலை மற்றும் துகள் என்ற இரட்டைப் பண்பு கொண்டது எனக் காட்டப்பட்டுள்ளதால் பொருளும் அதே இரட்டைப் பண்பினைப் பெற்றிருக்கக் கூடும்.

(ii) விசையியலுக்கும், ஒளியியலுக்கும் உள்ள நெருக்கமான இணக்கம்

நகரும் பொருள் எப் பாதையின், வழியாகச் செல்வதற்குக் குறைவான செயல் தேவைப்படுகிறதோ அந்தப் பாதை வழியே செல்லும் என்னும் மாபார்டியனின் குறைந்த செயல் கோட்பாடும் (maupertian principle of least action), செல்லுவதற்கான நேரம் எந்த வழியில் குறைவோ அந்த வழியில்தான் ஒளி செல்லும் என்று கூறுகின்ற 'ஃபெர்மட்டின் குறைந்த கால கோட்பாடும்' (fermats principle of least time) ஒளியியல் மற்றும் விசையியல் ஆகிய பௌதிகத்தின் இரு பிரிவுகளுக்குமிடையே உள்ள ஒற்று மையைப் பற்றி குறிப்பிடுகின்றன. சாதாரணமாக அலையியல்பு கொண்டதாகக் கருதப்படும் கதிர் வீச்சு சில ஒளியியல் நிகழ்ச்சி களில் துகள் பண்பு கொண்டதாக மாற்றி எண்ணப்பட்டது போல, விசையியலில் துகள் பண்புடையதாகக் கருதப்படும் பொருள் அதன் முழுத் தன்மையையும் அறிய வேண்டிய நிலையில் அலை இயல்பு உடையதென மாற்றி எண்ணப்பட வேண்டியதாக இருக் கக்கூடும்.

(iii) அணு அமைப்புப் பற்றிய போரின் கொள்கை (Bohr's atomic structure)

1913-ல் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில், அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்புப் பற்றியும், நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் பற்றியும், போர் போதிய விளக்கம் கூறினார். இது பற்றி நாம் அடுத்த அத்தியாயத்தில் பார்ப்போம். போரின் கொள்கைப்படி அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் உறுதி நிலை (stable state) முழு எண் விதிகளுக்குக் கட்டுப் பட்டுள்ளது. முழு எண் பங்கு கொள்ளும் பௌதிக நிகழ்ச்சிகள்

குறுக்கீடு மற்றும் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பிகளின் அதிர்வு நிலை (interfernce and mode of vibration of stretched strings) ஆகியவை மட்டுமே ஆகும். இவை இரண்டும் அலை இயக்கங் கொண்டவை. எனவே எலெக்ட்ரான்களை அவைகளின் உறுதி நிலையில் (stable state) சாதாரண பொருட் துகளாக மட்டும் கருதாது அவைகளுக்கு உள்ளார்ந்த விரைவதிர்வுத் தன்மை (intrinsic periodicity) ஒன்று தந்தே ஆகவேண்டும்.

(iv) கதிர்வீச்சு பற்றிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் நிறைவின்மை (Inadequacy)

ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கை பல வழிகளில் திருப்தியானதாக அமைந்திருந்தாலும் அதில் சில குறைபாடுகளும் இல்லாமல் இல்லை. முதலாவதாக கதிர்வீச்சுக் என்பது ஃபோட்டான்களின் பொழிவு (shower) என்றால் எல்லா கதிர்வீச்சுகளும் ஏன் ஒரே வேகத்தோடு பரவிச் செல்ல வேண்டும்? இதற்கான காரணத்தை நம்மால் புரிந்து கொள்ள முடியவில்லை. மாறுத இவ் வேகங் குறித்து துகள் அமைப்பு எவ்வித விளக்கமும் தரவில்லை. இரண்டாவதாக ஃபோட்டானின் ஆற்றலை அளவிட்டு அதன் மூலம் அதை வரையறை செய்வதில் அதிர்வு எண்ணுகிய ν பெரும் பங்கு வகிக்கிறது. ஃபோட்டான்களின் பொழிவில் அதிர்வு எண் என்பதற்கு என்னதான் பொருள் இருக்க முடியும்? எடுத்துக் காட்டாகத் துப்பாக்கியிலிருந்து வெளிவரும் குண்டிலோ அல்லது விழுகின்ற மழைத் துளியிலோ அலைவுத் தன்மை ஏது? எவ்வாறு யினும் அலைநீளத்தின் மூலம் $\left(\nu = \frac{c}{\lambda}\right)$ அளவிடப்படும் அதிர்வு எண் அலைப்பண்பே ஆகும். ஃபோட்டான் பற்றிய கருத்தில் அதிர்வு எண்ணும் சேர்ந்தே இருக்கிறது. இவ்வாறு ஏற்பட்ட சூழ்நிலை பௌதிக வரலாற்றில் ஏற்பட்ட புதிர்களில் பெரும் புதிராகும், கதிர்வீச்சு அலைத்தன்மை கொண்டதா அல்லது நுண்ணிமத் தன்மை கொண்டதா? இது பௌதிகத்தால் மட்டும் தீர்க்க இயலாத கடினமான பிரச்சினையாகும் என்பது உண்மையே. பொருட் துகளுக்கும் மேற்கூறியது போன்ற இரட்டைப் பண்பினைத் தந்து இப் பிரச்சினையின் சிக்கலை ஓரளவு குறைக்கலாம்.

இதுபோன்ற சிந்தனைகளின் விளைவாக டி-ப்ராயில் அவர் டாக்டர் பட்டம் பெறுவதற்கான கட்டுரையில் 'பொருள் அலைகள்' பற்றிய புதிய கருத்தினை வெளியிட்டார். இதற்காக விஞ்ஞான உலகம் 1929-ல் அவருக்கு நோபல் பரிசு தந்து பெருமைப் படுத்தியது. அக் கட்டுரையில் அவர், கதிர்வீச்சில் மட்டுமல்லாது பொருளிலும் அலை மற்றும் துகள்களுக்கு இடையே நெருங்கிய

தொடர்பு இருக்கிறதென்று அவர் கூறினர். இயங்கும் ஒரு துகளுடன் ஒரு அலையும் சேர்ந்தே இருக்கிறது. ஃபோட்டான் எவ்வாறு அலைகளால் கட்டுப் படுத்தப்படுகிறதோ அதே முறையில்தான் இங்கு துகள் அலைகளால் கட்டுப்படுத்தப்படு கிறது. ஒரு நிறக் கதிர்வீச்சுக் கற்றை செல்லும் பாதையை அறிய நாம் அலைக் கொள்கையைப் பயன்படுத்துகிறோம். ஆனால் அக் கற்றையின் ஆற்றல் பரிமாற்றங்களை (energy transaction) அறிய ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் துணையை நாடுகிறோம், இது போன்றே எலெக்ட்ரான்கள், என்பவை சிறு துகள்களாகும். அவற்றின் மின்னூட்டம், பொருண்மை, மற்றும் ஆற்றல் இவை களைத் துகள் அமைப்பிலேயே காணலாம். ஆனால் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் பாதையை அறிவதற்கு, அது பொருட்களால் பிரதி பலிக்கப்படுகிறதா? அப்படி பிரதிபலிக்கப்பட்டால் எவ்வாறு பிரதிபலிக்கப்படுகிறது என்பனவற்றை அறிய அதை ஒரு அலைக் கற்றையாகக் கருதவேண்டியுள்ளது. எனினும் ஆற்றலை எலெக்ட்ரான்தான் சுமந்து செல்கிறது. எலெக்ட்ரான்களுடன் சேர்ந்திருக்கும் அலைகள் அல்ல என்பதையும் நினைவில் வைக்க வேண்டும். இதையே பொருள் அலைகளில் எது அதிர்ந்தபோதும் ஆற்றலைக் கொண்டுள்ள உண்மையான ஊடக்கத்தில் எவ்வித நெகிழ்ச்சி (strain)யும் ஏற்படுவதில்லை.

டி-ப்ராய் அலை நீளம் (De-Broglie wave lengts)

இப் 'பொருள் அலைகள்' டி-ப்ராய் அலைகள் (De-Broglie waves) எனப்படுகின்றன. ஒரு அலையின் முக்கியமான பண்பு அதன் அலை நீளமாகும். எனவே டி-ப்ராயில் இவ்வலை நீளத்தில் கவனம் செலுத்தி நிலையான அலை அமைப்பு (standing wave system) சமன்பாடு மற்றும் சார்பியல் கோட்பாடுகள் இவற்றைப் பயன்படுத்தி அலை நீளத்திற்கான ஒரு கோவையைப் பெற்றார்.

எலெக்ட்ரானைப் போன்ற ஒரு பொருட் துகளை அது இருக்கு மிடத்தில் ஒரு நிலையான அலை அமைப்பாகக் கருதுவோம். பொருள் அலைகளைத் தருமாறு மடங்கி மடங்கி வரும் மாற்றங்களை அடைகின்ற, அளவு ψ என்று கொள்வோம் துகளுக்குப் பக்கத்தில் உள்ள $x_0\ y_0\ z_0$ என்னும் புள்ளியில் t_0 என்னும் எக் கணத்திலும் அதன் மதிப்பு $\psi = \psi_0 \sin 2\pi\ v_0\ t_0$ என்பதால் பெறப்படுகிறது. இதில் ψ_0 என்பது எடுத்துக்கொண்ட புள்ளியில் உள்ள வீச்சு (amplitude) ஆகும், v_0 என்பது துகளைப் பொருத்து அசையா திருக்கும் ஒரு நோக்கர் கண்ட அதிர்வு எண் ஆகும். இப்போது அத் துகளுக்கு X ஆயத் திசையில் v என்னும் வேகங் கொடுக்கப் படுவதாக நினைத்துக் கொள்வோம். இப்புதுச் சூழலில் ψ-யின்

மாற்றங்களைக் குறிக்க நாம் சார்பியல் கொள்கையின் மாற்றச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

$$t_0 = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore \quad \psi = \psi_0 \sin \frac{2\pi v_0 \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

இச் சமன்பாட்டினை அலையியக்கச் (wave motion) சமன்பாடாகிய

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \right) \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

என்பதுடன் ஒப்பிட்டு நோக்கினால் இதில் A என்பது வீச்சு, T என்பது அலைவு நேரம், மற்றும் u என்பது X ஆய வழியே அதன் வேகம் ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றன.

$$u = \frac{c^2}{v} \text{ மற்றும் } \frac{1}{T} = v = \frac{v_0}{\sqrt{1 = \frac{v^2}{c^2}}}$$

என அறிகிறோம்.

ஐன்ஸ்டீனின் நிறை—ஆற்றல் தொடர்பிலிருந்து

$$hv_0 = m_0 c^2 \text{ அல்லது } v_0 = \frac{m_0 c^2}{h} \text{ ஆகிறது.}$$

$$\therefore \quad v = \frac{m_0 c^2}{h \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \text{ ஆக இருப்பதால்}$$

$$v = \frac{mc^2}{h} \text{ என்றாகும்.}$$

பொருள் அலையின் நீளம் $\lambda = \frac{\text{வேகம்}}{\text{அதிர்வு எண்}}$

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{c^2/v}{mc^2/h}$$

$$= \frac{h}{mv}$$

இவ்வாறு நாம் டி. ப்ராயிலின் அலைநீளத்திற்கான சமன்பாட்டினை அடைகிறோம். இதை வார்த்தைகளில் கூறினால், m பொருண்மை கொண்ட ஒரு பொருள் துகள் v என்னும் வேகத்தோடு சென்றால் அதனுடன் சேர்ந்துள்ள அலைநீளம், h என்னும் பிளாங்க் மாறிலிக்கும் (Planck's constant) அத் துகளின் உந்தமாகிய (momentum) mv-க்கும் உள்ள விகிதமாக இருக்கும்.

குறிப்பு: கதிர் வீச்சினை உவமையாகக் கொண்டு λ-க்கான சமன்பாட்டினை இன்னும் எளிதாகப் பின்வரும் முறையில் அடையலாம்.

சார்பியல் கொள்கையின் அடிப்படையில் hv என்னும் ஆற்றலுடைய ஃபோட்டானின் மோதப்பாடாகிய $p = \frac{hv}{c}$ ஆகும்.

எனவே, $p = \frac{hv}{c}$

$$= \frac{h}{\lambda}$$

அல்லது $\lambda = \frac{h}{p}$ இதுபோலவே பொருள் அலையின் அலை நீளமும் $= \frac{h}{p}$ பொருள் துகளின் பொருண்மை m மற்றும் அதன் வேகம் v என்றால் அதன் மோதப்பாடாகிய $p = mv$ ஆகும்.

$$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{mv} \quad \text{ஆகும்.}$$

எனினும் முதலில் கூறிய முறை பொருள் அலைகளின் சில முக்கியப் பண்புகளைக் குறிப்பிடுகிறது. இரண்டாவது முறை அத்தகையக் குறிப்புகள் தருவதில்லை.

இவ்வாறு ஒரு பொருள் துகள் இயங்கும்போது இருவேறு வேகங்கள் அதில் பங்கேற்கின்றன. அவையாவன: பொருளின்

விசையியல் திசைவேகம் ஆகிய v என்பது. மற்றது பொருளுடன் சேர்ந்திருக்கும் அலை செல்லுகின்ற வேகம் u. இவ்விரு வேகங்களும் $u = \frac{c^2}{v}$ என்னும் சமன்பாட்டால் தொடர்புபடுத்தப் பட்டுள்ளன. பொருளின் வேகமாகிய v ஒளியின் வேகமாகிய cஐ விடச் சிறியது. எனவே பொருளுடன் சேர்ந்த அலையின் வேகம் cஐக் காட்டிலும் அதிகம். இதிலிருந்து டி-ப்ராயில் அலைகள் கதிர்வீச்சு அலைகளைப் போன்றவை அல்ல என்பது தெரிகிறது. ஏனெனில் கதிர்வீச்சு எப்போதும் மாறாத ஒளியின் வேகத்தில் செல்லக் கூடியது.

டி-ப்ராய் அலை நீளத்திற்கான சமன்பாட்டில் $\left(\lambda = \frac{h}{mv}\right)$ துகள் பண்பும் அலைப் பண்பும் மிக நன்றாகத் தொடர்புபடுத்தப் படுகின்றன என்பதை நினைவில் வைத்தல் வேண்டும். அலையியக்கத்தில் மட்டுமே λ என்பதற்குத் தெளிவான விளக்கம் உண்டு. அதுபோலவே mv என்னும் மோதப்பாடு, இயங்கும் துகளுக்குத் தான் கூறப்படுவது.

எலெக்ட்ரான்கள், புரோட்டான்கள், அணுக்கள், மூலக் கூறுகள், போன்ற மற்ற மற்றப் பொருள்களுடன் இயைந்த அலைகளின் நீளத்தை $\lambda = \frac{h}{mv}$ என்னும் சமன்பாட்டின் உதவியால் எளிதில் கணக்கிடலாம். எடுத்துக்காட்டாக எதிர்மின் கதிரில் (cathode ray) உள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கு $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{eV}{300}$ என்னுந் தொடர்பு இருக்கிறது. இதில் m என்பது எலெக்ட்ரானின் பொருண்மை, v என்பது அதன் வேகம். இவ் வேகம் ஒளியின் வேகத்தைவிட மிக்வும் குறைவு எனக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. e என்பது நி.மி. அலகில் கூறப்பட்டுள்ள எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் மற்றும் V என்பது மின்னிழப்புக் குழலின் மின் முனைகளுக் கிடையே உள்ள வோல்ட் அளவுகளில் கூறப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடாகும்.

இதிலிருந்து

$$m^2 v^2 = 2\,\frac{meV}{300} \text{ அல்லது}$$

$$mv = \sqrt{\frac{meV}{150}}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$= h\sqrt{\frac{150}{meV}}$$

இதில் h, m மற்றும் e இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{V}} \cdot 10^{-8} \text{ செ.மீ.}$$

மின்னழுத்த வேற்றுமை 150 வோல்ட்டாக இருக்கும்போது அலையின் நீளம் $1A^\circ$ மி. வே. 15000 வோல்ட்டுகள் ஆனால் $\lambda = 0 \cdot 1 A^\circ$ இவை எக்ஸ்-கதிரின் அலைநீள எல்லைக்குள் இருக்கின்றன. எனவே எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பயன்படுத்திய செய்முறைகளின் மூலம் இவைகளைச் சோதித்தறிய முடிதல் வேண்டும்.

மிக அதிக வேகமுடைய எலெக்ட்ரான்களைப் பயன்படுத்தினால் மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் சார்பியல் திருத்தங்களை உபயோகிக்க வேண்டும். V-யின் மிக அதிகமான மதிப்புக்கு அன்றி மற்றவற்றிற்கு இத் திருத்த அளவு (correction factor) மிகக் குறைவாகவே இருக்கிறது. இத் திருத்தம் 50,000 வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களுக்கு 5%-ம் 200,000 வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களுக்கு 8·5%-ம் இருக்கிறது.

இதே முறையில் அணு அலைகள், மூலக்கூறு அலைகள், இன்னும் அதிகப் பொருண்மை கொண்ட பொருள் துகள்கள் ஆகிய இயங்கு பொருள்களின் அலைநீளங்களைக் கணக்கிடலாம். குறிப்பிட்ட v என்னும் வேகத்திற்கு m அதிகமாக அதிகமாக λ-ன் மதிப்புக் குறையும். எனவே மிகக் கனமான துகள்களின் அலைநீளங்களைச் செய்முறையில் அறிதல் எளிதன்று.

செய்முறைகள் மூலம் பொருள் அலைகளை ஆய்தல் :

பொருள் அலைகள் பற்றிய, டி-ப்ராய்லின் மேற் கூறிய கருத்திலிருந்து பொருள் துகள் கற்றை அலைப் பண்பைக் கொண்டிருக்கின்றன எனக் கருதுவதால் அவைகள் பிரதிபலித்தல், முறிவு அடைதல், விளிம்பில் விலகல் மற்றும் முனைகொள்ளல் போன்ற நிகழ்ச்சிகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். இது பற்றிச் சோதனைகள் நடத்தியபோது பொருள் அலைகள் மேற் கூறிய நிகழ்ச்சிகளைக் காட்டின. இச் சோதனைகளுக்கு ஏற்ற பொருள் துகள்களாக

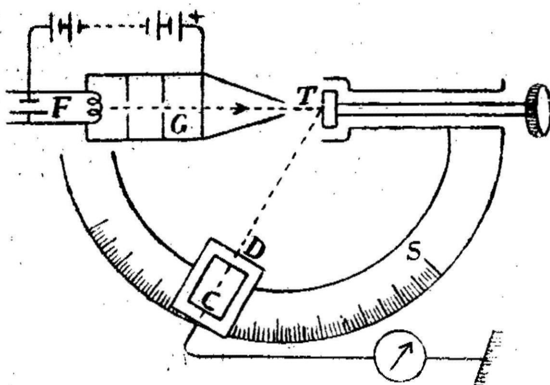
எலெக்ட்ரான்கள் பயன்படுத்தப்பட்டன. குறிப்பிட்ட வேகங் கொண்ட, செறிவுள்ள எலெக்ட்ரான் கற்றைகளை எளிதில் உண்டாக்கலாம். மேலும், எலெக்ட்ரான்கள் மிகக் குறைந்த பொருண்மை உடையனவாக இருத்தலின் எலெக்ட்ரான் அலை களின் நீளம் எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைநீள அளவில் இருக்கிறது. எனவே எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பயன்படுத்திய முறைகளைக் கொண்டு இவற்றின் அலை நீளங்களை அளத்தல் இயலும்.

டேவிசன் மற்றும் ஜெர்மர் ஆகியோர் கண்ட எலெக்ட்ரான் விளிம்பில் விலகல் பற்றிய செய்முறை (Experiment of Davisson and Germer on the diffraction of electrons) :

டி-ப்ராயில் யூகித்த எலெக்ட்ரான் அலைகளை, 1927-ல் டேவிசன் மற்றும் ஜெர்மர் என்னும் இரு அமெரிக்க பௌதிக அறிஞர்கள் தற்செயலாகச் செய்முறை மூலம் முதல் முதலாகக் கண்டுபிடித்தனர். மெதுவாகச் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களுக்கு விளிம்பில் விலகல் முறையில் டி-ப்ராயில் அலைநீளம் காண்பதிலும் அவ்விருவரும் வெற்றி பெற்றனர். அடிக்கடி நிகழ்வது போல செய்முறையில் ஏற்பட்ட தற்செயலான விளைவுகள் கண்டு பிடிப்பில் முடிந்தன. டேவிசன் மற்றும் ஜெர்மர் இருவரும் ஒரு நிக்கல் இலக்கில் எலெக்ட்ரான்களின் பிரதிபலிப்பை ஆய்வதில் ஈடுபட்டிருந்தனர். தற்செயலாக இலக்கினை, அது பெரிய படிகங் களின் தொகுப்பாக மாறுமளவுக்குச் சூடுபடுத்தினர். இதன் விளைவாக எலெக்ட்ரான்களின் பிரதிபலிப்பு முரண்பட்டதாயிற்று (anomalous) அதாவது பெருமப் பிரதிபலிப்பின் (maximum reflection) கோண நிலையிலிருந்து (angular position) தொடர்ந்து குறைந்து கொண்டே போவதற்குப் பதிலாகப் பிரதிபலிப்புச் செறிவு (reflected intensity) தெளிவான பெருமங்களையும் (maxima) சிறுமங்களையும் (minima) கொண்டிருந்தது. எதிர்பாராத இவ் விளைவு படிகங்களில் ஏற்பட்ட எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பில் விலகலை நினைவுபடுத்தி எலெக்ட்ரான் கற்றை, எக்ஸ்-கதிர்களைப் போலவே படிகங்களில் விளிம்பில் விலகல் உண்டாக்கும் என எண்ண வைத்தது. இதிலிருந்த குறிப்பிட்ட சூழ்நிலைகளில் எலெக்ட் ரான்கள் அலைகளைப் போல் செயல்படுகின்றன என்பது தெரி கிறது. இது தெளிவு படுத்திக் கொள்ள வேண்டிய ஒரு முக்கிய மான குறிப்புதான். ஒரு நிக்கல் படிகங் கொண்ட இலக்கினைத் தயாரித்துப் பின்வரும் ஆராய்ச்சிகளைச் செய்தனர். இவ் வாராய்ச்சிகள் எலெக்ட்ரான் கற்றையை உண்மையில் பிரதிபலிக் கவும், விளிம்பில் விலகவும், ஏன் திசை விலக்கவும் (refract) செய்யலாம் என்பதை நிலைநாட்டின.

கருவி :

அவர்கள் பயன்படுத்திய செய்முறை அமைப்பு (experimental arrangement) படம் 146-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. G என்னும் எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கியிலிருந்து (electron gun) எலெக்ட்ரான் கற்றை வெளிவருகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி (i) F என்னும் டங்ஸ்டன் இழை (ii) தெரிந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு கொண்ட மின்புலம் மற்றும் (iii) பிளவுகள் (slits) ஆகியவைகளைக் கொண்டிருக்கிறது. F என்னும் டங்ஸ்டன் இழை செம்பழுப்பு நிறத்திற்குச் சூடுபடுத்தப்படும் போது வெப்பச் செயலின் (thermionic action) விளைவினால் எலெக்ட்ரான்களை உமிழ்கிறது. 30 வோல்ட்டிலிருந்து 600 வோல்ட் வரை மின்னழுத்த வேறுபாட்டினை மாற்றி அமைத்து எலெக்ட்ரான்களுக்கு முடுக்கம் தர இயலும். இவ்வாறு முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை, ஒரு மெல்லிய கற்றையாக ஒருவரிப்படுத்த எலெக்ட்ரான் துப்பாக்



படம் 146.

கியில் உள்ள பிளவுகள் (slits) பயன்படுகின்றன. இக் கற்றை T என்னும் இலக்கில் உள்ள பெரிய ஒற்றை நிக்கல் படிகத்தின் மேல் விழும்படி செலுத்தப்படுகிறது. இந்த இலக்கினைப் படு கற்றையின் அச்சுக்கு இணையாயுள்ள ஓர் அச்சில் சுழற்ற இயலும். இதற்கான காரணத்தை இப்போது விளக்குவோம். எலெக்ட்ரான்கள் படிகத்தால் பல திசைகளிலும் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. அவைகளின் கோணவகைப் பங்கீடு (angular distribution) சேமிப்பு முனையாகிய C என்னும் பாரடே உருளையைக் (Faraday's cylinder) கொண்டு அளவிடப்படுகிறது. பாரடே உருளை ஒரு நுட்பமான மின்னோட்ட அளவியுடன் (galvanometer)

இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும் 20°-க்கும் 90°-க்கும் இடையில் பிரதிபலிக்கப்படும் எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் ஏற்பதற்கு ஏற்ற வகையில் பாரடே உருளை ஒரு வட்ட அளவுகோலின் (circular scale) மேல் நகரும் வண்ணம் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. C என்னும் சேமிப்பு முனை D என்னும் காப்பிடப்பட்ட (insulated) இரு சுவர்களைக் கொண்டிருக்கிறது. இவ்விரு சுவர்களுக்கு மிடையில் எதிர் முடுக்க மின்னழுத்தம் (retarding potential) ஒன்று உண்டாக்கப்படுகிறது. இதனால் படுவேகத்திற்குச் சமமான வேகங்கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே சேமிப்பு அறையில் நுழைந்து மின்னோட்ட அளவியால் கண்டுபிடிக்கப்படு கின்றன. மோதல்களினால் ஏற்படும் இரண்டாம் நிலை எலெக்ட் ரான்கள் (secondary electrons) சேமிப்பு அறையினுள் நுழை வதில்லை. எதிர் முடுக்க மின்னழுத்தம், நேர் முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பில் 10-ல் 9 பாகம் இருக்கும். இக் கருவி முழுதும் நன்கு மூடப்பட்டு வாயு இன்றி வெற்றிடமாக்கப்பட்டிருக் கிறது. நிக்கல் படிகம் பக்க மையங் கொண்ட (face centred) 'க்யூப்' வகையைச் சேர்ந்தது. அதன் பிரதிபலிக்கும் தளம் $(1, 1, 1)$-க்கு இணையாக இருக்கும்படி வெட்டப்பட்டுள்ளது. முன்னற் கூறிய அச்சில் இப் படிகத்தைச் சுழற்றி, படிகத்தின் எந்த முகட்டு வட்டையையும் (azimuth) படுகற்றை மற்றும் பிரதி பலிக்கும் கற்றை இவை இருக்கின்ற தளத்திற்கே கொண்டு வரலாம்.

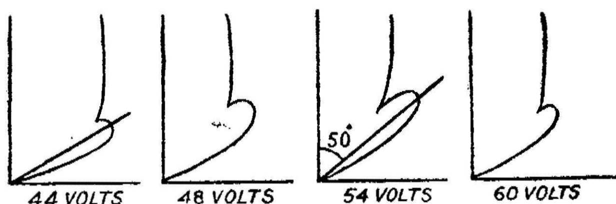
செய்முறை :

பின் வரும் இருவேறு முறைகள் கையாளப்பட்டன.

(a) நேர்க்குத்தாகப் படச் செய்யும் முறை :

படிகத்தின் பரப்பில் எலெக்ட்ரான் கற்றை நேர்குத்தாகப் படுவதால், மேல்புறப் படலம் (surface layer) சமதளக் கீற்றணி யாகப் (plane grating) பயன்பட்டு விளிம்பில் விலகல் உண்டா கிறது. ஒவ்வொரு முகட்டு வட்டைக்கும் (azimuth) படிகத்தின் மேல்தளத்தில் எலெக்ட்ரான் கற்றையை விழச் செய்து சேமிப்பு அறையை (collecter) வட்ட அளவுகோலில் பல இடங்களில் நகர்த்திவைத்து மின்னோட்ட அளவியின் (galvanometer) முன் காட்டுகின்ற அளவுகள் குறிக்கப்படுகின்றன. குறிக்கப்படும் அளவுகள் விளிம்பில் விலக்கம் அடைந்த எலெக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவினது அளவாகக் கொள்ளப்படுகிறது. மின் னோட்ட அளவி தரும் அளவுகளுக்கும், படுகற்றை மற்றும் சேமிப்பு அறைக்குள் நுழைகின்ற கற்றைக்கும் இடையில் உள்ள கோணத்திற்குமாக—(இக் கோணத்திற்கு நிரப்பு நேர்வரை—

(colatitude) — என்று பெயர்.)—வரைபடம் வரையப்படுகிறது. இச் செயல்முறை முடுக்கம் தரு மின்னழுத்தத்தின் பல்வேறு மதிப்புகளுக்குத் திரும்பத் திரும்ப செய்யப்பட்டுச் செய் முறைக் குறிப்புகள் எடுக்கப்படுகின்றன. படம் 147-ல் காட்டியுள்ளபடி



படம் 147.

அமைந்த வளைகோட்டுப் படங்கள் (curves) வரையப்படுகின்றன. 44 வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களுக்கு வளைகோட்டில் ஒரு புடைப்பு (bump) தோன்றத் தொடங்குகிறது. வோல்ட் அதிகமாக அதிகமாகப் புடைப்பு மேல் நோக்கி நகர்கிறது. 50° நிரப்பு நேர் வரையில் (colatitude) 54 வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களுக்குப் புடைப்புப் பெரும நிலை (maximum) அடைகிறது. இதற்கு அதிகமான முடுக்கந்தரு மின்னழுத்த மதிப்புக்கு (accelerating voltage) புடைப்பு வரவரக் குறைய ஆரம்பித்துச் சுமார் 68 வோல்டில் புடைப்புத் தென்படாமலே போய்விடுகிறது.

புடைப்பு (bump) நன்கு தெரிவது எலெக்ட்ரான் அலைகள் உண்டு என்பதற்கான சான்றாக ஆகிறது. ஏனெனில் டி-ப்ராயில் கொள்கைப்படி 54 வோல்ட் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் அலைநீளம்

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{54}}\ A^\circ = \sqrt{2{\cdot}8}A^\circ = 1{\cdot}66A^\circ$$

ஆகிறது. செய்முறைப்படி 50° நிரப்பு நேர்வரையில் (colatitude) நமக்கு ஒரு விளிம்பில் விலகல் கற்றை கிடைக்கிறது. சமதள பிரதிபலிப்புக் கிராதியின் (plane reflection grating) $n\lambda = d \sin \theta$ என்னும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்தி λ-ஐ அடையலாம். இதில் n என்பது இங்கு முதல் வரிசையையும் (order), d-ன் மதிப்புப் படிகவியல் (crystallographic analysis) ஆய்வு முறையில் கண்டுள்ளபடி $2{\cdot}15\ A^\circ$ ஆகும்.

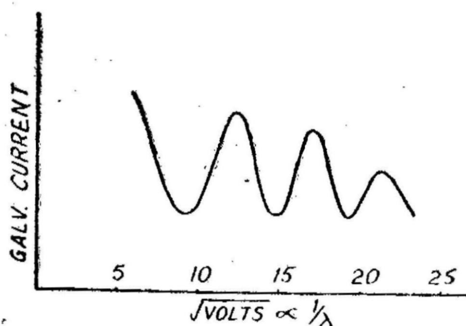
$$\lambda = 2{\cdot}15 \sin 50^\circ = 1{\cdot}65A^\circ$$

இவ்வாறு λ-ன் அளவில் காணப்பட்ட சீரிய பொருத்தத்தி லிருந்து எலெக்ட்ரான் கற்றை எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையைப் போலவே செயல்படுகிற தென்பதைக் காட்டுகிறது. மேலும் பிரதிபலிக்கும் தளங்களில் விளிம்பில் விலகல் ஏற்படுவதால் உண்மையிலேயே எலெக்ட்ரான் கற்றை அலைப் பண்புகளைக் கொண்டிருப்பது தெரி கிறது.

மேற்கூறிய முடிவுகள் *A* முகட்டு வட்டையைக் கொண்டு பெறப்பட்டன. இவ்வாறே *B* மற்றும் *C* முகட்டு வட்டைகளைக் கொண்டும் அலைப் பண்பு தெளியப்பட்டது.

(b) சாய்வாகப் படச்செய்தல் (Oblique incidence) :

ஒரு படிகத்தின்மீது எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்று சாய்வாக விழும்போது ப்ராயில் கூறிய விளிம்பில் விலகல் போன்று அடுத் தடுத்துள்ள இணையான அணுப் படலங்களில் (atomic layers) விளிம்பில் விலகல் ஏற்படுகிறது. எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கியையும், சேமிக்கும் அறையையும் நிலையாக வைத்துவிட்டால் படுகதிர் மற்றும் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கதிர் இவைகளின் சாய்கோணங்களும் (glancing angles) மாருமலிருக்குமாறு செய்யலாம். இந் நிலையில் முடுக்க மின்னழுத்தத்தை—அதன்மூலம் எலெக்ட்ரான்களின் வேகத்தை—மாற்றி ஒவ்வொரு மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்னோட்ட அளவி காட்டும் அளவுகள் குறிக்கப்படுகின்றன. மின்னோட்



படம் 148

டத்தின் மதிப்புகளுக்கும், முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்திற்குமாக வரைபடம் (graph) வரைந்தால் படம் 148-ல் காட்டியுள்ளது போல பல்வேறு கூரிய பெருமங்களைக் (sharp maxima) கொண்ட வளைகோடு (curve) ஒன்று கிடைக்கிறது. இப்படிப்பட்ட ஒழுங் கான தேர்ந்த பிரதிபலிப்பு (regular selective reflection) எலெக்ட்

ரான் கற்றை மேற் கூறிய முறையில் விளிம்பில் விலகல் அடைகிற தென்பதைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது. வெவ்வேறு பெருமங்கள் வெவ்வேறு வரிசை (order)களைக் குறிக்கின்றன. வளைகோட்டி லிருந்து ஒவ்வொரு வரிசைக்கும் பெருமப் பிரதிபலிப்பு (maximum reflection) தரும் மின்னழுத்தத்தின் அளவினைக் காணலாம். அதிலிருந்து டி-ப்ராயில் சமன்பாடாகிய $\lambda = \left(\frac{150}{V}\right)^{\frac{1}{2}}$ என்பதைப் பயன்படுத்தி λ-வைக் கணக்கிடலாம். சாய்கோணம் θ மற்றும் கிராதி இடைவெளி d இவைகளின் தெரிந்த மதிப்பினைப் பயன் படுத்தி ப்ராக்கின் வாய்பாடாகிய $n\lambda = 2d \sin\theta$ என்பதன் உதவி யாலும் λஐக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு இரு வழிகளிலும் கணக் கிட்ட λ-ன் மதிப்புப் பெரிதும் ஒத்திருந்தது. இதிலிருந்து எலெக்ட் ரான்களின் அலைப்பண்பு நிலைநிறுத்தப்பட்டது.

எலெக்ட்ரான்களின் திசை விலக்கம் (Refraction):

எலெக்ட்ரான் கற்றைகளைச் சாய்வாக விழச்செய்து செய்த சோதனைகளின் முடிவுகள் எலெக்ட்ரான் கற்றைகளை முறிக்கவும் கூடும் என்று எண்ண இடமளித்தன. ஏனெனில் டேவிசன் மற்றும் ஜெர்மர் இருவரும் ப்ராக்கின் (Bragg) சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திக் கண்ட λ-ன் மதிப்பும், டி-ப்ராயில் சமன்பாட்டினைக் கொண்டு கணக்கிட்ட λ-ன் மதிப்பும் முற்றிலும் சமமாக அமை யாததைக் கண்டனர். ப்ராக்கின் முறையில் கண்ட மதிப்பு, டி-ப்ராயில் முறையில் கண்ட மதிப்பைவிடச் சீராகக் குறைந்தே காணப்பட்டது.

இக் குறைவுக்கான காரணத்தை எக்கார்ட் (Eckart), மற்றும் பெதே (Bethe) ஆகிய இருவரும் முதலில் கூறினர். அவர்கள் எலெக்ட்ரான் கற்றை படிகத்தினுள் நுழையும்போது முறிவு அடைகின்றது என்றனர்கள். எக்ஸ்-கதிர்களில் இத்தகைய வினைவு ஏற்படுவதையும், அதனால் ப்ராக்கின் சமன்பாடு

$$n\lambda = 2d\sqrt{\mu^2 - \cos^2\theta}$$

என மாற்றம் அடைவதையும் கண்டோம். இச் சமன்பாட்டில் μ என்பது எக்ஸ்-கதிர்கள் படிகத்தினுள் நுழையும்போது அவை களுக்கான முறிவு எண்ணைக் (refractive index) குறிக்கிறது. இச் சமன்பாடு உண்மையாகவே எலெக்ட்ரான் அலைகளுக்கும் பொருந்தும். ஆனால் μ என்பது என்ன? எலெக்ட்ரானின் முறிவு எவ்வாறு ஏற்படுகிறது? இது பற்றிப் பின்வருமாறு சுவைமிக்க விளக்கந் தரப்படுகிறது.

வெப்ப முறையில் எலெக்ட்ரான்களை உமிழ்தல் (thermionic emission) பற்றிய ஆய்வுகள் எலெக்ட்ரான்கள் உலோகத்தின் பரப்பிலிருந்து தங்களை விடுவித்துக்கொள்ள வேலை செய்ய வேண்டியிருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகின்றன. எனவே, உலோகப் படிகம், சூழ்ந்திருக்கும் பொருள்களைவிட ΔV நேர் மின்னழுத்தம் கொண்டிருப்பதாகக் கூறலாம். இதன் விளைவாக V வோல்ட் எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்று படிக தளத்தில் i என்னும் படுகோணத்தில் விழுந்து படிகத்தினுள் நுழைந்தால் அது மேலும் ΔV வோல்ட் அளவு முடுக்கு முற்று முறிவு அடைகிறது. r என்பது முறிவு கோணம் என்றும் v_1 மற்றும் v_2 என்பன முறையே படிகத்தின் வெளியிலும், உள்ளேயும் எலெக்ட்ரானுக்கு உள்ள வேகம் என்றும் கொள்வோம். பின்னர்

$$\frac{1}{2} m v_1^2 = eV$$

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = e(V + \Delta V)$$

மேற்பரப்புக்கு இணையாய் அமைந்த மின்புலம் மாறுது இருப்பதால் அவ்விரு வேகங்களுக்குமுள்ள, பரப்புக்கு இணையான ஆக்கக் கூறுகள் (components) சமமாக இருக்கும்.

$$\therefore \quad v_1 \sin i = v_2 \sin r$$

$$\text{அல்லது} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_2}{v_1} = \mu = \sqrt{\frac{V + \Delta V}{V}}$$

எலெக்ட்ரான்களுக்கு μ என்பது ஒன்றைவிட அதிகம் என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். டேவிசனும் ஜெர்மரும் μ-ன் மேற் கூறிய சமன்பாட்டினைச் செய்முறைக் குறிப்புகளைக்கொண்டு மெய்ப்பித்தனர்.

$$n\lambda = 2d\,(\mu^2 \cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

என்னும் வாய்பாட்டினைப் பயன்படுத்தி λ-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கான μ-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிட்டனர். நிக்கலுக்கு உரிய ΔV-ன் மதிப்பு 18 வோல்ட்டுகள் என்று இட்டு $\mu = \left(\frac{V + \Delta V}{V}\right)^{\frac{1}{2}}$ என்னும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திக் கண்ட மதிப்புகள் மேற்சொன்ன முறையில் கணக்கிட்ட மதிப்புகளுடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தன. எலெக்ட்ரானின் வேகம் அதிகரிக்க—அதாவது V அதிகரிக்க—μ-ன் மதிப்பு 1ஐ நெருங்குகிறது. ஜி. பி. தாம்சன் (G. P. Thomson), மற்றும் ரூப் (Rupp) போன்ற ஆராய்ச்சியாளர்

களும் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் முறிவு (refraction) பற்றிய சான்றுகளைப் பெற்று மேற்கூறிய சமன்பாட்டினை மெய்ப்பித்தனர்.

ஜி. பி. தாம்சனின் செய்முறை (Experiment of G. P. Thomson):

1928-ல் ஸ்காட்லாந்தில் ஜி. பி. தாம்சன் என்பார், 10,000-லிருந்து 50,000 வோல்ட்வரை கொண்ட உயர்வேகமுடைய எலெக்ட்ரான்களை (high speed electron) மெல்லிய தகடு கொண்டு விளிம்பில் விலகச் செய்து எலெக்ட்ரான் அலைகள் பற்றிய ஆராய்ச்சியினைத் தொடர்ந்தார். இவர் டிபை-ஷெரர் ஆகியோர் படிக ஆய்வுக்குப் பயன்படுத்திய தூள் முறை (powder method) போன்ற ஒரு முறையினைக் கையாண்டார்.

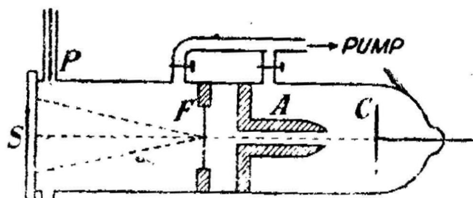


பேராசிரியர் ஜி. பி. தாம்சன்

கருவி :

அவர் பயன்படுத்திய செய்முறை அமைப்பு படம் 149-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. தூண்டு சுருளின் (induction coil) உதவியால் AC என்னும் மின்னிழப்புக் குழாயில் (discharge tube) எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்று உண்டாக்கப்படுகிறது. அக்கதிர்கள் A என்னும் துளைவழியே அனுப்பப்பட்டுச் சிறந்த மெல்லிய எலெக்ட்ரான் கற்றையாக்கப்படுகிறது. பின்னர் இக் கற்றை தங்கம், வெள்ளி, அலுமினியம் போன்றவற்றால் ஆன மெல்லிய உலோகத்தகட்டில் விழும்படி செய்யப்படுகிறது. நல்ல விளைவுகளைப் பெறவேண்டுமானால் இத்தகடு 10^{-6} செ.மீ. என்னுமளவில், மிகக்குறைந்த கனம் உடையதாக இருக்கவேண்டும். இப்படிப்பட்ட மிக மெல்லிய தகடுகளைத் தயாரிக்கத் தனியான உத்திகள் (special techniques) கையாளப்பட்டன. கடைகளில் கிடைக்கும் தகடுகளைத் தக்க கரைப்பான்களைக் (solvents) கொண்டு கரைத்து மெல்லியதாக்கிச் சில தகடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. ஏதாவது ஓர் அடித்தளத்தின்மீது (base) உலோகங்களைச் சிதறிப் படரச் செய்து (sputtering) பின்னர் அடித்தளத்தைக் கரைத்து எடுத்து மற்றத் தகடுகளும் செய்யப்படுகின்றன. P என்பது ஓர் ஒளிப்படத் தகடு. இதை, மென்தகடு வழியே சென்ற எலெக்ட்ரான் கற்றை

யினை ஏற்பதற்குரிய இடத்தில் செருகி வைக்கலாம். S என்பது ஓர் ஒளிர் திரை. எலெக்ட்ரான்கள் மெல்லிய தகட்டின் வழியே செல்வதனால் ஏற்படும் விளைவினைக் கண்கூடாகக் கண்டறிய இத் திரையைப் பயன்படுத்தலாம். $F.P$ என்னும் ஒளிப்படக் கருவிப்



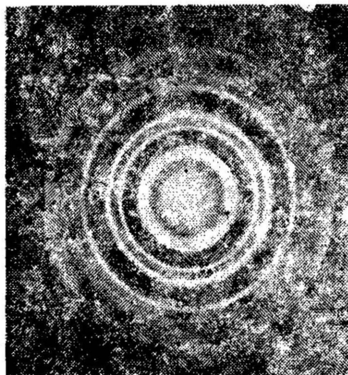
படம் 149

ஜி. பி. தாம்சனின் கருவி (எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பில் விலகல்)

பகுதி நன்கு வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ளது. மின்னிழப்புக் குழாய்ப் பகுதியில் ஊசி வால்வு (needle valve) வழியே காற்றுக் கசிவு (leak) உண்டாக்கப்படுகிறது. படக் கருவியும் மின்னிழப்புக் குழாயும் A என்னும் சிறுதுளைக் குழாய் வழியே மட்டுமே இணைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. எனவே படக் கருவியைக் குறைந்த அழுத்தத் தில் வைத்திருப்பினும், வேண்டிய வோல்ட் உள்ள எலெக்ட்ரான் கற்றையை உண்டாக்குவதற்கேற்றவாறு மின்னிழப்புக் குழாயை மிருதுவானதாக்கி (soft) வைத்திருக்க முடியும். தூண்டு சுருளி லிருந்து வரும் மின்னோட்டம் கெனட்ரான் (kenotron) உதவியால் நிவர்த்திக்கப்படுகிறது (rectified). மின்னிழப்புக் குழாயுக்கு இணை யாகப் பல நெளிவு நீக்கும் (smoothing) மின்னேற்பிகள் (condensers) இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

தெரிந்த வேகமுள்ள எலெக்ட்ரான் கற்றை ஒன்றை மெல்லிய தகடு ஒன்றின் வழியாகச் செலுத்திப் பின்னர் ஒளிப்படத் தகட்டில் விழச் செய்யவேண்டும். ஒளிப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்தால் அடுத்த பக்கத்தில் காட்டியுள்ளது போன்ற சரிச்சீரமைவு கொண்ட மையப் புள்ளியுடன் கூடிய ஒரு மைய வட்டங்களின் (concentric circles) அமைப்புக் கிடைக்கிறது. இவ் வட்டங்கள் பொடியாக்கப் பட்ட படிக முறையில் எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாக்கிய வட்டங்களைப் போலவே இருந்தன. இவ் வட்ட வடிவ அமைப்பு எலெக்ட்ரான் களின் விளிம்பில் விலகலால்தான் ஏற்படுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள் மெல்லியதகடு வழியாகச் செல்லும்போது உண்டாகும் இரண்டாம் நிலை எக்ஸ்-கதிர்களால் (Secondary X-Rays) உண்டாவதில்லை என்பதைப் பின்வரும் சோதனையால் காட்டலாம். மின்னிழப்புக்

குழலில் இருந்துவரும் எலெக்ட்ரான் கற்றை காந்தப்புலத்தால் திருப்பப்பட்டால் (deflected) ஒளிர்திரையில் காணப்பட்ட வட்டங்களின் வடிவ அமைப்பு (pattern) முழுதுமாக எலெக்ட்ரான் கற்றை நகர்வதற்கேற்ப நகருகிறது. இவ் வடிவ அமைப்பு



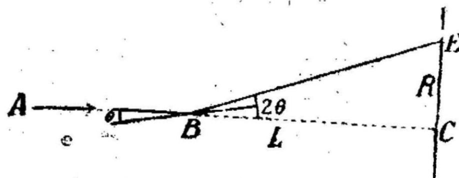
எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பில் விலகல் (ஒளிப் படம்)

எக்ஸ்-கதிர்களால் உண்டாகியிருந்தால் இவ்வாறு நகராது. மேலும் மெல்லிய தகட்டை எடுத்துவிட்டால் வட்டவடிவ அமைப்பும் மறைந்துவிடுகிறது. இதிலிருந்து மெல்லியதகடு இன்றி வடிவ அமைப்பு (pattern) ஏற்படாது என்பது தெரிகிறது. விளிம்பில் விலகல் வடிவ அமைப்புகளை (diffraction patterns) அலைகள் மட்டுமே உண்டாக்க இயலும். ஆகவே இச் சோதனை எலெக்ட்ரான் கற்றை அலைகளைப் போலவே செயல்படுகிறது என்பதையும் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

டி-ப்ராய் சமன்பாட்டினைப் பின்வருமாறு **அளவு வகையில்** தெளியலாம்.

டிபை—ஷெரர் ஆகியோர் எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பயன்படுத்திய பொடியாக்கப்பட்ட படிக முறையில் ஏற்படுவது போன்றே, பல படிகங்களைக் கொண்ட மென்தகட்டில் ப்ராக்கின் (Bragg's) பிரதிபலிப்பினை ஏற்படுத்துவதற்கு ஏற்ற சரியான கோணத்தில் அமைந்த சில படிகங்கள் இருக்கக் கூடும். போதிய அளவுப் படிகங்கள் இங்கொன்றும் அங்கொன்றுமாகப் பரவிக்கிடந்தால் அவைகளில் ஏற்படும் மேற்கூறிய பிரதிபலிப்பினால் ஏற்படும் விளிம்பில் விலகிய கூம்புகள் (cons of diffraction) ஒளிப்படத் தகட்டைச் சந்திக்கும்போது தொடர்ந்த பல வட்டங்கள் உண்டாகின்றன.

AB என்பது மெல்லிய தகட்டில், B என்னுமிடத்தின் வழியாகச் செல்லும் படுகற்றை யென்றும், BE என்பது B என்னுமிடத்திலுள்ள சிறு படிகம் ஒன்ருல் ப்ராக்கின் பிரதிபலிப்புக்கு ஆளான கற்றை யென்றும் கொள்ளுவோம். இக் கற்றை ஒளிப்படத் தகட்டில் E என்னுமிடத்தில் விழுகிறது. E என்பது O



படம் 150.

என்னும் மையப் புள்ளியிலிருந்து R தூரத்தில் இருக்கிறது. (படம் 150). மெல்லிய தகட்டிற்கும் ஒளிப்படத் தகட்டிற்கும் இடையில் உள்ள BC என்னும் தூரத்தை L என்போம். CBE என்னும் கோணம் 2θ-க்குச் சமம். இங்கு θ என்பது ப்ராக்கின் சமன்பாடாகிய $n\lambda = 2d \sin \theta$ என்பதிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

$$R = L \tan 2\theta = L.2\theta.$$

ஏனெனில θ என்பது மிகமிகச் சிறியது.

$$\text{ஆனல் } n\lambda = 2d \sin \theta = 2d \times \theta.$$

$$\theta = \frac{n\lambda}{2d}$$

$$\therefore \ R = \frac{L\, n\lambda}{d}$$

அதிக வேகமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பயன்படுத்துவதால், சார்பியல் திருத்தம் கொடுத்த டி-ப்ராயிலின் λ மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$R = \frac{n.L}{d}\sqrt{\frac{150}{V\left(1 + \frac{a}{2}\right)}}$$

$$RV^{\frac{1}{2}}\left(1 + \frac{a}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{nL\sqrt{150}}{d}$$

= ஒரு மாருத எண்ணுகும்.

D என்பது நாம் எடுத்துக்கொண்ட விளிம்பில் விலகல் வட்டத்தின் விட்டம்

என்றால் $R = \frac{D}{2}$ எனவே

$$DV^{\frac{1}{2}}\left(1 + \frac{a}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

என்பது அப்போதும் மாறாத எண்ணாகவே இருக்கிறது. சார்பியல் உண்டு என்பதற்கான ஆதாரங்கள் கிடைக்கவில்லை. திருத்தத்தை விட்டுவிட்டு நோக்கினால் முதல்நிலைத் தோராயமாக (first approximation) $D\sqrt{V}$ என்பது ஒரு மாறாத எண்ணுக்குச் சமமாகிறது. பல்வேறு வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களைப் பயன்படுத்தி உண்டாகும் வடிவ அமைப்பில், ஒரு குறிப்பிட்ட வட்டத்தின் விட்டத்தை அளந்து தாம்சன் இத் தொடர்பினை மெய்ப்பித்தார்.

$$d = \frac{nL}{R}\sqrt{\frac{150}{V\left(1 + \frac{a}{2}\right)}}$$

என்னும் சமன்பாட்டில d-ஐத் தவிர மற்ற அளவுகளை எளிதில் அளக்கக்கூடும். அவைகளை அளந்து, வெவ்வேறு உலோகங்களுக்கான கிராதி இடைவெளி d-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட d-ன் மதிப்புகளை இதே உலோகங்களுக்கு எக்ஸ் கதிர் கொண்டு கணக்கிட்ட d-ன் மதிப்புகளுடன் ஒப்பிடுவதன் மூலமும் டி-ப்ராய் சமன்பாடு செய்முறைப் பிழை (experimental error) உட்பட்ட நிலையில் மெய்ப்பிக்கப்பட்டது.

எலெக்ட்ரான் அலைகள் முனைவு கொள்ளல் (Polarisation of Electron waves) :

எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும், எலெக்ட்ரான் அலைகளுக்கும் இருந்த பெரும் ஒற்றுமை, ஆராய்ச்சியாளர்களை, எக்ஸ்-கதிர்களுக்குப் பயன்படுத்திய முறைகளைக் கொண்ட எலெக்ட்ரான் கற்றைகளில் முனைகொள்ளல் இருக்கிறதா என ஆராயத் தூண்டியது. ஆனால், இதுவரை எலெக்ட்ரான் அலைகளில் முனைகொள்ளல் (polarisation) உண்டென்பதற்கான ஆதாரங்கள் கிடைக்கவில்லை.

கட்டற்ற அணுக்கள் (Free atoms) மற்றும் மூலக்கூறுகள் மின்னூட்ட மற்ற துகள்களின் அலைப்பண்பு :

டி-ப்ராய் கொள்கை எல்லாப் பொருள் துகள்களுக்கும் பொருந்தும் ஆகையால், கட்டற்ற (free) அணுக்கள் மற்றும் மூலக்

கூறுகள் இவைகளின் அலை இயல்பினை எடுத்துக்காட்டுவதற்காக உருவாக்கப்பட்ட சோதனைகளைப் பல விஞ்ஞானிகள் பயன்படுத்தினர். 1927-ல் டெம்ப்ஸடர் (Dempster) என்பவரும் 1930-ல் எஸ்டர்மன் (Estermann) மற்றும் (Stern) என்பவர்களும் ஹைட்ரஜன் மற்றும் ஹீலியம் இவைகளைத் தக்க படிகங்களைக் கொண்டு பிரதிபலிக்கச் செய்து விளிம்பில் விலகல் நிகழ்ச்சிகளை உண்டாக்கினர். இவ்வாறு டி-ப்ராயல் கூறிய பொருண்மை அலைகள் என்னும் கருத்துக்குப் பக்கத் துணையாக வந்தார்கள்.

எலெக்ட்ரான் விளிம்பில் விலகலின் நடைமுறைப் பயன்கள் (Practical applications):

இன்று எலெக்ட்ரான் விளிம்பில் விலகல் ஏட்டளவில் இருந்து வெகு தொலைவு சென்றுவிட்டது. பொருட்களின் உள்ளமைப்பினை ஆய்வதற்கான—குறிப்பாக மேற்புறங்களில் உள்ள மெல்லிய ஏடு (films)கள் மற்றும் சிக்கலான மூலக் கூறுகள் இவைகளின் கட்டமைப்பினைக் (structure) காண்பதற்கான எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பில் விலகல் முறைகளை விரிவுபடுத்த இவை பயன்படுகின்றன. மேற்புற கட்டமைப்பினைப் (surface structure) பற்றிய ஆய்வினைப் பொருத்தவரை எக்ஸ்-கதிர்களைவிட எலெக்ட்ரான்கள் இயல்பான இரு அனுகூலங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. அவையாவன: எலெக்ட்ரான்கள் எக்ஸ்-கதிர்களைவிட (பொருளில்) குறைவான ஆழமே ஊடுருவிச் செல்கின்றன. பொருளுக்கும், எலெக்ட்ரான்களுக்குமிடையே உண்டாகும் பின்னிச் செயல்படல் (interaction) நெருக்கமுடையதாக இருக்கிறது. மேலும், எலெக்ட்ரான் விளிம்பில் விலகல் மூலம் கிடைக்கும் வடிவமைப்புகள் (patterns) நல்ல செறிவுடன் இருக்கின்றன. எனவே ஒளிப்படம் எடுப்பதற்குக் குறைவான பதிவு நேரம் (time of exposure) போதும். நவீன எலெக்ட்ரான் நுண் பொருள் காட்டி (Electron microscope)கள் அவைகளில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் விளிம்பில் விலகல் அமைப்பு (diffraction unit) ஒன்றால் முழுமை பெற்றவை ஆகின்றன.

பொருள் அலைகள் பற்றிய கொள்கை வழி அறிவு—புதிய ஆற்றல் முடிச்சு விசையியல் (New Quantum mechanics) அல்லது அலை விசையியல் (Wave mechanics)

மேலே விவரித்த செயல்முறை ஆய்வுகளிலிருந்து எல்லாப் பொருள் துகள்களுக்கும் அவை எந்நிலையில் இருப்பினும் ஒருவித அலைப்பண்பு கொடுக்கவேண்டும் என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. பொருள்களின் நுட்பமான கட்டமைப்பு (fine structure) பற்றிய விவரங்களைப் பெறுவதற்கு தொன்மை விசையியலி

லிருந்து மாறுபட்ட புதுவகையான விசையியல் ஒன்றை உருவாக்குதல்வேண்டும் என்பதை இந்த அடிப்படை உண்மை உணர்த்துகிறது. இப் புது விசையியல் அலைக் கொள்கை கதிர் வீச்சின் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையினையும், துகள் இயக்கவியல் (dynamics of particles) இவைகளில் உள்ள நல்ல கருத்துகளை உள்ளடக்கியதாக இருக்கவேண்டும். டி ப்ராயலின் எளிய உவமைக் கருத்துப்படி (analogical conception) பொருள் அலைகள் என்பதை ஒருவகைக் குவான்டங்கள் (wave pockets) எனக் கொள்ளலாம். இவை கதிர்வீச்சில் கூறப்பட்ட குவான்டங்களைப் போன்றவை அல்ல. இவைகளுக்குக் குறிப்பிடத் தக்க பௌதிகச் சிறப்புகள் இல்லை.

பொருள்களின் அலை இயல்பு செயல் முறையில் நிலை நாட்டப்படுவதற்கு முன்பாகவே 1925ஆம் ஆண்டில் டி-ப்ராயில் அலைகள் தந்த குறிப்பின் அடிப்படையில் ஹெய்சன்பர்க் மற்றும் ஷ்ராடிஞ்சர் ஆகியோர் இருவேறு வழிகளில் ஒரு புதிய விசையியலை உருவாக்கினார்கள். ஹெய்சன் பர்க்கின் விசையியல் குவான்ட விசையியல் (quantum mechanics) எனப்படும். ஷ்ராடிஞ்சர் கண்ட விசையியல் அலைவிசையியல் (wave mechanics) எனப்படும். இதைத் தொடர்ந்து ஷ்ராடிஞ்சர் தன்னுடைய அலை விசையியலும் ஹெய்சன்பர்க்கின் முடிச்சு விசையியலும் கணித முறைப்படி ஒன்றே என்றும் அவை இரண்டிலிருந்தும் பெறும் முடிவுகளும் ஒன்றே என்றும் காட்டினார். இரண்டு முறைகளும் பயனுள்ளவையே ஆகும். இவை இரண்டும் பொதுவாகப் புது குவான்டம் கொள்கை (new quantum theory) என்றழைக்கப்படுகின்றன. இது பற்றிய கொள்கை விளக்கத்தில் மிக உயர்ந்த வகை கணிதவியல் கருத்துகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எனவே அத்தகைய விளக்கங்கள் இப் புத்தகத்தின் நோக்கிற்கு அப்பாற்பட்டவை. எனினும் அவை பின்வரும் நல்ல முடிவுகளுக்கு வழி வகுத்தன என்பதைக் குறிப்பிட வேண்டும்.



பேரா சிரியர் ஷ்ராடிஞ்சர்

(i) பொருள் அலைகள் எம்முறையில் நோக்கினும் எங்கு நோக்கினும் ஒரு பௌதிக நிகழ்ச்சியே அல்ல :

நுண்ணிமத்தைப்பற்றி நாம் அறிந்தவை ஒரு உருவகக் குறிப்பே பொருள் அலைகள். அது பௌதிகப் பண்பு அற்ற ஒரு நிகழ்திற அலை (probality wave) ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பில் விலகல் (diffraction) நிகழ்ச்சியில் அவை பொருளுடன் மோதும் போதும் அல்லது பின்னிச் செயல்படும்போதும் துகள்களாகவே செயல்படுகின்றன. ஆனால் அவை ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் இருக்கின்றனவா இல்லையா என்று கூறும் நிகழ்திறன் அவைகளுடன் இருக்கும் அலைகளைக் கொண்டு தீர்மானிக்கப்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஒரு எலெக்ட்ரானைக் கண்டு பிடிக்க நாம் முயன்றால், அங்கு நாம் ஒரு முழு எலெக்ட்ரானைக் காண்போம் அல்லது ஒன்றையுமே காணமாட்டோம். ஆனால் எலெக்ட்ரானுடன் உள்ள அலைகள் அவைகளைக் காண்பதற்கான நிகழ் திறனைத் தருகின்றன. அது நிச்சயமாக ஒரு பின்னமாகவே இருக்கும்.

(ii) உறுதிப்பாடு இல்லாமைக் கோட்பாடு (Principle of indeterminacy)

உறுதிப்பாடு இலாமைக் கோட்பாடு அல்லது தெளிவில்லாமைக் கோட்பாடு (principle of uncertainty) என்னும் புதிய முக்கியமான ஒரு கோட்பாடு. பொருளுடன் கூடிய நிகழ் திறனலைகள் (probability waves) கொள்கையிலிருந்து பெறப்பட்டது. இப் புதிய கோட்பாடு தொன்மை விசையியல் வலியுறுத்திய நியதி வாதத்திற்கு (determinism) பெருங்கேடு விளைத்தது. தொன்மைக் கருத்துகளின்படி துகள் என்பதற்கு எக்கணத்திலும் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் இருப்பது என்றும் ஒரு குறிப்பிட்ட உந்தம் (momentum) உடையது என்றும் பொருள். ஒரு பொருளின் ஆரம்ப இடமும் மோதப்பாடும் தெரிந்தால் *t* என்னும் எந்த நேரத்திலும் அதன் இடத்தையும் மோதப்பாட்டினையும் சரியாகத் தீர்மானிப்பது தொன்மை விசையியலின் பிரச்சினையாக இருந்தது. அதாவது ஒவ்வொரு நேரத்திலும் துகள் திட்டவட்டமாகக் கணக்கிடப்பட்ட ஒரு இடத்தில் இருக்கும். நேரம் செல்லச் செல்ல அதன் வீச்சுப் பாதை என்னும் வளைகோட்டில் அது நகர்கிறது. ஆனால் உறுதியிலாமைக் கோட்பாடு ஒரே சமயத்தில் ஒரு துகளின் இருப்பிடத்தையும் அதன் உந்தத்தினையும் சரியாகக் கணக்கிட இயலாது என்று கூறுகிறது. இதிலிருந்து அத் துகளின் ஆரம்ப இடம், உந்தம் இவைகளையும் கூட ஒரே சமயத்தில் சரியாகக் கணக்கிட முடியாது என்பது தெரிகிறது. எனவே ஒரு துகளுக்குத் தொடர்ந்த வீச்சுப் பாதையையும்

உடனடி உந்தத்தையும் (instantaneous momentum) தர இய லாது. 'துகள்' என்ற சொல்லை இனியும் அதன் பழைய பொருளில் பயன்படுத்த முடியாது. அது நுண்ணுமம் மற்றும் அலை ஆகிய வற்றின் ஆழமான பிணைப்பினுல் ஏற்பட்ட ஒன்ருகும். இது சில குறிப்பிட்ட, தவிர்க்க முடியாத உறுதிப்பாடு இல்லாமையில் (indeterminacy) முடிந்திருக்கிறது. மேலும் ஒவ்வொரு நிகழ்ச் சிக்கும் சிறிதும் பிசகாத விதிகளைப் பயன்படுத்த வேண்டுமென பழைய விசையியல் கோருகிறது. ஆனுல் புதிய விசையியல் கணக்கிடக் கூடிய நிகழ்திறன் கொண்ட விதிகளைத்தான் தருகிறது. இவ் விதிகள் துல்லியமான வாய்பாடுகளாக (exact formulae) கூறப்பட்டுள்ள போதிலும் அவை நிகழ்திறன் கூறும் விதிகளே ஆகும். எனவே பௌதிக விஞ்ஞானத்தில் உறுதிப் பாட்டின் இடத்தை நிகழ்திறன் கைப்பற்றிக் கொண்டிருக்கிறது.

(iii) பொருளுக்கும் கதிர்வீச்சிற்குமிடையே சேர்க்கை (Synthesis between matter and radiation) :

நிகழ்திறன் முறையைப் பயன்படுத்தி கதிர்வீச்சினையும் விளக்கலாம். கதிர்வீச்சுப் பொருளுடன் பின்னிச் செயல்படும் போது அது ஒரு துகளைப் போலவே செயல்படுகிறது. இச் செயலுக்கு நாம் எப்போதும் ஒரு முழு ஃபோட்டானையே எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். ஆனுல் எந்த ஒரு கணத்திலும் ஃபோட் டான் இருக்குமிடத்தை அறிய விரும்பினுல் அதன் அலைத் தன்மையை நாடவேண்டியிருக்கிறது. அதுவே அதைக் கண்டு பிடிப்பதற்கான நிகழ்திறன் தரும் அளவாகிறது. கதிர்வீச்சுப் பற்றிய இத்தகைய புள்ளியியல் கருத்து (statistical conception) ஈதர் என்னும் ஊடகத்தைக் கற்பனை செய்ய வேண்டிய அவசி யத்தினை நீக்கிவிடுகிறது. எனவே ஊடகத்தின் உதவியின்றி கதிர் வீச்சினை மின்காந்த அலைகளாக எவ்வாறு கருத இயலும் என்னும் பிரச்சினைக்குத் தீர்வு கண்டது இக் கொள்கையின் பெரு வெற்றியாகும்.

பொருள் மற்றும் கதிர்வீச்சு இவை இரண்டிலும் காணப்படும் இரட்டைப் பண்புக்கு இதன் மூலம் விளக்கம் கிடைக்கிறது. அவ் விளக்கம் வருமாறு : துகள் மற்றும் அலைப்பண்புகள் ஒன்றுக்கு ஒன்று முழுமை அளிப்பன. துகளின் இடஞ்சார்ந்த பங்கீட்டினை (spatial distribution) அலைக் கருத்தைக் கொண்டுதான் கூறிட இயலும். எனினும் ஒருவர் அலைப்பண்பினை வரையறுக்க முற்படின் துகள் பண்பு மறைந்து உறுதியற்ற, புள்ளியியல் கண்டு பிடிப்புத் தன்மையை அடைந்து வரையற்றதாகி விடுகிறது. இதிலிருந்து அது பொருளாயினும் கதிர்வீச்சாயினும் உண்மைத்

தன்மை என்பது இரு, எதிரிடையான ஆனால் ஒன்றுக்கு ஒன்று முழுமை தருகின்ற, தொடர்ந்த அலை (continuous waves) மற்றும் தொடர்ச்சி அற்ற துகள் (dis continuous particle) ஆகிய இரு ஆக்கக் கூறுகளின் (components) வரையறுக்க இயலாத நுண்மையான சேர்க்கையாகும். இது ஒரு தொடர்பற்ற தொடர்ச்சி அல்லது தொடர்ந்த தொடர்பின்மை ஆகவே எளிய சேர்க்கை அல்லது. மிகச் சிக்கலான சேர்க்கை.

வினாக்கள்

1. சார்பியல் கொள்கை பௌதிகத்தின் அடிப்படைக் கருத்துகளைப் பாதித்த விதத்தினை ஆராய்க.

2. லோரன்ஸ் மாற்றச் சமன்பாடுகளைக் கூறு. அவைகளின் சிறப்பினை விளக்குக. வேகங்களின் சேர்க்கைக்கான சார்பியல் வாய்பாட்டினைத் தருவிக்க.

3. ஐன்ஸ்டீனின் பொருண்மை - ஆற்றல் தொடர்பினைக் கூறி அதனைப் பெறுக. இத் தொடர்பினுக்கு ஆதரவான வாதங்களைக் கூறு.

4. ஒளியின் உமிழ்வின் முக்கிய பண்புகளைச் சுருக்கமாகக் கூறு. ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அப் பண்புகள் எவ்வாறு விளக்கப்படுகின்றன.

5. ஒளி மின்னியல் (photo electricity) பற்றிய எல்லாச் செயல்முறை உண்மைகளையும் கூறு. ஐன்ஸ்டீன் கூறிய ஒளிமின்னியல் சமன்பாடு (photo electric equation) அவ் வுண்மைகளுக்குத் தந்த விளக்கத்தினை விரித்து எழுது.

6. ஐன்ஸ்டீனின் ஒளிமின்னியல் சமன்பாட்டினைக் கூறி விளக்கு. எது எவ்வாறு தெளியப்பட்டது என்பதை ஒரு செய்முறையைக் கொண்டு விவரி.

7. பொருள்களால் எக்ஸ்-கதிர்கள் சிதறப்படும் நிகழ்ச்சிக்கான விளக்கந்தருவதில் தொன்மைக் கொள்கைக்கு ஏற்பட்ட இடர்ப்பாடுகளைச் சுருக்கமாகக் கூறி விளக்குக. காம்ப்டன் கூறிய விளக்கத்தை விரித்துக் கூறு. இவ் விளக்கத்திர்கு ஆதரவாய் அமைந்த செய்முறைச் சான்றினை விவரி.

8. காம்ப்டன் விளைவின் கொள்கையினைக் கூறு. இவ் விளைவின் ஆய்வதற்கான செய்முறை அமைப்பினை விவரி.

காம்ப்டன் அலை நீளத்திற்கு உரிய ஆற்றலின் அளவினை (எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகளில் கணக்கிடு.

(விடை 0·51 மி. எ. வோ.)

9. பொருள்களின் அலை இயல்பினை விளக்கி ஒரு கட்டுரை வரைக.

10. பொருள் அலைகள் பற்றி டி-ப்ராயின் கருத்துக்களைக் கூறு. அத்தகைய அலைகளின் நீளங் காண்பதற்கான சமன்பாட்டினைப் பெறுக. 15,000 வோல்ட் எலெக்ட்ரான்களுடன் இணைந்த அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக. (விடை $0 \cdot 1 A^{\circ}$)

11. பொருள் அலைகள் பற்றிய டி-ப்ராயிலின் கொள்கையைச் சுருக்கமாகக் கூறு. எலெக்ட்ரான் அலைகளின் விளிம்பில் விலகல் பற்றிய ஏதாவது ஒரு செய்முறையினை எழுது.

12. எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பில் விலகலை ஆய்வதற்கு டேவிசன் மற்றும் ஜெர்மர் ஆகியோர் பயன்படுத்திய கருவியின் படம் வரைந்து விவரி. செய்முறையினையும் அதனல் பெறப்பட்ட முடிவுகளையும் விளக்குக.

13. எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பில் விலகல் குறித்து ஜி. பி. தாம்சன் செய்த செய்முறையினை விரிவாகக் கூறு. செய்முறையையும் முடிவுகளையும் விளக்குக.

14. குறிப்பு வரைக:

(a) நிறை-ஆற்றல் தொடர்பு

(b) குவாண்டக் கொள்கை (பரோடா 1954)

(c) எலெக்ட்ரான்களின் விளிம்பு விலகல்

(d) உறுதிபாடு இலாமைக் கோட்பாடு.

6. அணுவின் கட்டமைப்பும், நிறமாலைகளும்

(Atomic Structure and Spectra)

புதுமைப் பௌதிகம் முக்கியமாகப் பொருளின் அணுத் தன்மைப் பற்றியே விரிவாகக் கூறுகிறது. அத்தகைய நுண்ணிய நிலை பற்றிய விரிவான அறிவின் துணையால்தான் நடைமுறையில் பயன் தரும் பல முக்கியமான முடிவுகள் ஏற்பட்டுள்ளன. மேலும் நம்மைச் சுற்றியுள்ள புதிர்மிக்க உலகைப் புரிந்து கொள்ளத் தேவையான துகள் மற்றும் அலையியல்புகள் பற்றிய முடிவுகளும் கிடைத்துள்ளன.

உலகில் உள்ள எல்லாப் பொருள்களையும், தொண்ணூற்றளவு தனிமங்களுக்குள் அடக்கிவிடலாம் என்பதை நாம் அறிவோம். இவ்வுலகில் உள்ள பொருள்கள் எல்லாம் ஒரு தனிமத்தால் அல்லது பல தனிமங்களின் கூட்டுப் பொருளால் ஆனவையே ஆகும். பொருட்களின் அணுத் தன்மை அன்றே எண்ணிப் பார்க்கப்பட்ட ஒன்றுதான் உலகில் உள்ள எல்லாப் பொருள்களும்-அவை தனிமமாயினும், கூட்டுப் பொருளாயினும்-அடிப்படையில் துகள் அமைப்புக் கொண்டிருக்கின்றன. அதாவது இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்டுள்ள தனித்தனியான துகள்களால் உருவாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. பொருளின் இறுதி ஆக்கக் கூறுகளான (ultimate constituent) இவை தனிமத்தின் மேலும் பிரிக்க இயலாத மிகச் சிறிய பகுதியாகக் கருதப்பட்டமையால் அணுக்கள் (atoms) எனப்பட்டன. அணு என்னும் இச் சொல் 'வெட்டல்' 'இல்லை' என்னும் பொருள்படும் இரு கிரேக்கச் சொற்களிலிருந்து பெறப்பட்ட ஒன்றாகும். கி. மு' ஐந்தாம் நூற்றாண்டிலேயே டெமோகிரீட்டஸ் (Democritus) என்னும் கிரேக்கர் எல்லாப் பொருட்களும் அணுக்களால் ஆனவை என்றும், உருவத்திலும் அளவிலும் மாறுபடும் அடிப்படை அணுக்களில் இருந்தே பல்வேறு பொருள்களும்

உண்டாகின்றன என்றும் கூறினர். அணுத் தன்மை (atomism) பற்றிய இப் பழங் கருத்து மிக எளிதாக இருந்துங்கூட நீண்ட காலத்திற்கு—ஏன் பத்தொன்பதாம் நூற்றுண்டு வரையிலும் கூட-உலகம் அதை ஏற்கவில்லை. பொதுவாக அணுக்கள் என்பவை இறுதித் தன்மையுள்ள, தனித்தனி கூறுகள் என்னும் பழங்கருத்து பெருமளவு மாற்றப்பட வேண்டிய ஒன்ருக இருந்தது என்ருலும் நவீன விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகள் பொருட்களின் அணுத்தன் மைக்குச் சாதகமான முடிவுகளையே தந்தன. அணுக் கொள் கைக்கு ஆதாரமாக எடுத்துக் காட்டப்பட்ட சான்றுகளாவன :

(a) பொருட்களின் இறுக்கம் (Compressibility) :

பொருட்களின் இறுக்கம் வாயு நிலையில் உள்ள பொருட்களில் எளிதில் காணப்படுகிறது. திரவ மற்றும் திண் நிலைகளில் உள்ள பொருட்களைச் சிறிதளவே இறுக்க இயலும்.

(b) விரவிப் பரவல் (diffusion) சவ்வூடு பரவல் (osmosis) ப்ரௌனியன் இயக்கம் (Brownian motion) :

போன்ற பௌதிக நிகழ்ச்சிகள் மிகச் சிறிய அளவுள்ள பொருட்களாயினும் அதன் திட, திரவ, வாயு நிலைகள் மூன்றிலும் இத்தகைய, தனித்தனியான நுண்ணிய, தொடர்ந்து இயங்கிக் கொண்டே இருக்கிற துகள்கள் இருக்கின்றன என்பதைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன.

(c) எளிய விதிகளுக்குக் கட்டுப்பட்ட ஒழுங்கான படிக உருவ அமைப்புகள் :

நன்கு உருவாக்கப்பட்ட வெளிப் பின்னலில் (space lattice) தனித்தனி அணுக்கள் அமைந்திருப்பதைக் காட்டுகின்றன. அனேகமாக எல்லாப் பொருட்களும் படிக அமைப்புக் கொண்டிருக் கின்றன என்பது எடுத்துக் காட்டப் பட்டிருக்கிறது.

(d) பல்விகித விதி (Law of multiple proportion) :

19ஆம் நூற்றுண்டின் துவக்கத்தில் டால்ட்டன் (Dalton) என்பார் இரசாயனச் சேர்க்கை பற்றிய விதி ஒன்றைக் கண்டார். அது அணுக் கொள்கையை அளவு சார்ந்த முறையில் (quantitative) விளக்கியதோடு டால்ட்டனுக்கு 'அணுக் கொள்கையின் தந்தை' (father of the atomic theory) என்னும் பட்டத்தையும் வாங்கித் தந்தது. இவ் விதியின்படி அதே இரண்டு தனிமங்கள் சேர்ந்து பல்வேறு கூட்டுப் பொருள்களை உண்டாக்கும்போது, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள ஒரு தனிமத்துடன் சேரும், மற்ற

தனிமத்தின் வெவ்வேறு அளவுகளின் விகிதங்கள் அவ்வளவுகளுள் மிகச் சிறியதின் முழு மடங்குகளாக இருக்கும் (பின்னமாக இருக்காது) ஒவ்வொரு தனிமமும் ஒரே தன்மையுடைய தனித்தனி அணுக்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என்று கொண்டால் மட்டுமே மேற்கூறிய விதியினை எளிதில் விளக்க இயலும். இந்த பல்விகித விதி பல்வேறு அணுக்களின் ஒப்பு எடையைக் (ralative weight) கணக்கிடவும் வழி செய்கிறது. இவ்விதி பல விஞ்ஞானிகளால் பயன்படுத்தப்பட்டது. அவர்களுள் முன்னோடியாக விளங்கியவர் பெர்சீலியஸ் (Berzelius) என்பார் ஆவர்.

(e) தனிமங்களிடையே உள்ள மடக்கு நிலைவிதி (periodic law) :

1871-ல் மெண்டலீஃப் (Mendeleeff) என்பார் இயற்கையில் காணப்படும் பல்வேறு தனிமங்களையும், அவைகளின் எடை, மற்றும் இரசாயனப் பண்புகள் இவைகளுக்கு ஏற்ப வரிசைப்படுத்தி அவைகளுக்கு இடையே ஒரு விதியினைக் கண்டார். வரிசைப் படுத்தப்பட்ட இவ்வமைப்புத் தனிம மடக்கு நிலை அட்டவணை (periodic table of elements) எனப்படும். அதில் மடக்குகள் (periods) எனப்படும் ஏழு படுக்கை வரிசைகளும் பிரிவுகள் (groups) எனப்படும் எட்டுக் குத்துவரிசைகளும் (vertical coloumns) இருக்கின்றன. இப் பிரிவுகள் ஒவ்வொன்றும் ஒரே வகைப் பண்பு கொண்ட தனிமங்களை உள்ளடக்கியிருக்கின்றன. தனிமங்களிடையே காணப்படும் இந்த மடக்கு நிலை விதி, அணுவின் கட்டடமைப்பினை (structure) உறுதிப் படுத்துவதோடு குறிப்பிட்ட இடைவெளிக்குப் பின்னர் தனிமப் பண்புகள் திரும்பத் திரும்ப வரும்படியான ஒரு அமைப்பில் அணுக்கள் உருவாக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும் என்றும் குறிப்பிடுகிறது. அணுக்கள் என்பவை பிரிக்க முடியாத இறுதிக் கூறுகள் என்றும், அவைகளைவிடச் சிறிய துகள்களிலிருந்து அவை உருவாகியிருக்க முடியாது என்றும் கூறிய பழைய அணுக் கொள்கையின் விதிகளிலிருந்தும் இவ்வுண்மை மாறுபட்டது. உண்மையில் பின்னர் வந்த ஆராய்ச்சிகள் அணுவை உடைத்துப் பல பகுதிகளாக ஆக்கலாம் என்றும் எனவே அணு பிரிக்க முடியாதது அன்று என்றும் காட்டின.



மெண்டலீஃப்

இன்றைய கருத்துகளின்படி எந்த ஒரு தனிமமும் பல அணுக்களால் ஆகியதே. குறிப்பிட்ட தனிமத்தின் அணுக்கள் ஒரே மாதிரியானவை. ஆனால் வெவ்வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள் ஒன்றுக்கு ஒன்று இயல்பாலும் பண்பாலும் வேறுபடுகின்றன. எனவே ஒரு தனிமத்தின் அணு அத் தனிமத்தின் இயல்பையும், பண்புகளையும் வரையறுத்து அதன்மூலம் அத் தனிமத்தை மற்றத் தனிமங்களிலிருந்தும் வேறுபடுத்திக் காட்டுகிறது. சில குறிப்பிட்ட விதிகளுக்கேற்ப ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் சேர்ந்து மூலக் கூறுகள் என்னும் பெரிய பகுதிகளையும் அவ்வாறே அம் மூலக் கூறுகள் சேர்ந்து தனிமத்தையும் உண்டாக்குகின்றன. வெவ்வேறு தனிமங்கள் வெவ்வேறு அளவில் சேர்ந்து கூட்டுப் பொருட்களை (compounds) உண்டாக்குகின்றன.

நமக்கு வேண்டிய அணுவின் உள்ளமைப்பினைப் (internal structure) பொறுத்தவரை அணுவில் இரு முக்கியமான தனிப் பகுதிகள் (parts) இருப்பதை வளர்ந்து வரும் ஆராய்ச்சிகள் காட்டியுள்ளன. முதற் பகுதி அணுவின் மையமாய் உள்ள, நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கரு (nucleus) ஆகும். இது 10^{-12} செ.மீ. அளவினதாகிய மிகச் சிறிய வடிவினை உடையது. அணிவின் எடை முழுதும் இதனுள் இருப்பதாகவே கொள்ளலாம். மற்றப் பகுதியாக இருப்பது அணுக் கருவினைச் சூழ்ந்திருக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பாகும். இவ் வெலெக்ட்ரான்கள் அவைகளின் அளவுடன் ஒப்பிட அதிகமான தூரத்தில், அணுக் கருவைச் சுற்றி, இடையறுது ஒழுங்காக இயங்குகின்றன. ஒரு தனிமத்தின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகளுக்குக் காரணமாய் அமைந்திருப்பன இந்த எலெக்ட்ரான்களே ஆகும். இந்த எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, தனிமத்திற்குத் தனிமம் வேறுபடுகிறது. இலேசான தனிமத்திலிருந்து கனமான தனிமம் வரைப் பார்த்துக் கொண்டே செல்லும்போது இவ் வெலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறிப்பிட்ட வகையில் அதிகமாகிக் கொண்டே செல்வதைக் காணலாம். இவ்வாறு மிக இலேசான ஹைட்ரஜன் அணுவில் ஒரு எலெக்ட்ரானும், ஹீலியத்தில் இரண்டும், லிதியத்தில் மூன்றும் இவ்வாறே மேலும் மேலும் அதிகமாகிக் கொண்டே சென்று மிகமிகக் கனமான யுரேனிய அணுவில் மிக அதிகமான எண்ணிக்கையான 92-ஐ அடைகிறது.

சாதாரணமாக அணு மின்னூட்டம் அற்ற நிலையில் இருக்கிறது. எனவே அதன் அணுக் கருவில் உள்ள நேர்மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கை எலெக்ட்ரான்களில் உள்ள எதிர் மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். அயனி

யாக்கம் மூலம் ஒரு அணுவில் இருந்து எலெக்ட்ரான்களைப் பிரித்து நீக்கிவிட முடியும். ஒரு அணு அதன் எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்றை இழந்தால் அதற்கு ஒரு மடங்கு அயனியாகிய அணு (singly Ionised atom) என்று பெயர். இதில் ஒரு நேர் மின்னூட்டம் அதிகமாக இருக்கும் ஒரு அணுவிலிருந்து இரு எலெக்ட்ரான்கள் நீக்கப்பட்டால் அது இரு மடங்கு அயனியாகிய அணு எனப்படும். இதில் இரண்டு நேர்மின்னூட்டங்கள் அதிகமாக இருக்கும். இவ்வாறே மேலும் மேலும் எலெக்ட்ரான்களை நீக்கிக் கொண்டே போகலாம். எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் நீக்கிவிட்டால் கடைசியாக நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக் கரு (bare nucleus) மட்டும் தங்கி நிற்கும். அயனியாக்கப்பட்ட அணு சாதாரண நிலையில் எல்லை ஆகவே அது சுற்றிலுமுள்ள பொருள்களிலிருந்து தனக்கு வேண்டிய எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்று தன்னுடைய பழைய நிலைக்கு வர முயல்கிறது. அணுக் கரு மட்டும் (bare nucleus) உள்ள நிலையில் ஒரு அணுவின் பல பௌதிகப் பண்புகளும் இரசாயனப் பண்புகளும் மாறிவிடும் என்றாலும் அணுவின் உள்ளார்ந்த இயல்பும் (intrinsic nature) சிறப்புப் பண்புகளும் (individuality) அப்படியே இருக்கின்றன. ஆனால் அணுக் கரு சிதைக்கப்பட்டால் அணுவின் உள்ளமைப்பு மாறி பழைய அணு மாறி புதிய அணு ஒன்று பிறக்கிறது. இந் நிகழ்ச்சிக்குத் தனிம மாற்றம் (transmutation) அல்லது தனிமச் சிதைவு (disintegration) என்றுபெயர். அணுவின் பல்வேறு தனிப் பண்புகளும் மற்றும் செயல்களும் எவ்வாறு ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டன என்பதைச் சுருங்கக் கூறுவதே இந்த அத்தியாயம். மற்றும் பின்வரும் அத்தியாயம் ஆகியவற்றின் நோக்கமாகும். முதலில் செயல்முறைக் குறிப்புகளைக் கொண்டு அணுக் கருவுக்கு வெளியில் உள்ள கட்டமைப்பினையும், பின்னர் கடினமான ஆனால் சுவையுள்ள அணுவின் உட்பகுதியாகிய அணுக் கருவின் அமைப்புப் பற்றியும் பார்ப்போம்.

அணுவின் மாதிரி அமைப்பு :

இவ் வத்தியாயத்தில் அணுக் கருவுக்கு வெளியில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் கட்டமைப்பு (electromic structure) பற்றி விவரிப்போம். இவ்வமைப்புக் குறிப்பாக அணுவின் நிறமாலைப் பண்புகளைக் (spectral properties)க் கொண்டே அறியப்பட்டுள்ளது. செய்முறையில் கண்ட நிறமாலைக் குறிப்புகளை விளக்கப் பல கொள்கைகள் தொடர்ந்து எழுந்தன. அவைகள் அணுவின் மாதிரிகள் (atom models) என்றழைக்கப்பட்டன. இவ்வாறு எழுந்தவையே தாம்சனின் அணு மாதிரி (Thomsons atom model), ருதர்ஃ போர்டின் அணுக் கரு–அணு மாதிரி (ruther ford nucler atom model), போர் அணு மாதிரி (bohrs atom model) போன்ற மற்ற

மாதிரிகள் ஆகும். அணுக் கருவுக்கு வெளியில் உள்ள கட்டமைப்பினைப் பற்றிய சரியான, முழுமையான, அறிவினை இறுதியாக அலை விசையியல் மாதிரி (wave mechanical model) தந்தது. முன்னர் கூறிய மற்ற முறைகள் செய்முறையில் பெற்ற குறிப்புகளுக்கு மேலும் தெளிவான விளக்கங்கள் தருவதில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றத்தைக் குறிப்பிடுகின்றன.

தாம்சனின் அணு மாதிரி
(Thomson atom model)

1897-ல் ஜே. ஜே. தாம்சன் என்பார் எலெக்ட்ரானைக் கண்டு பிடித்தார். இதுவே அணுவின் உள்ளமைப்புப் பற்றி நாம் பெற்ற அறிவின் முதற்படியாகும். எலெக்ட்ரானின் நிறை, மற்றும் மின்னூட்டம் இவற்றைக் கணக்கிட அவர் நிகழ்த்திய செய்முறைகளிலிருந்து பின் வரும் இரு உண்மைகள் நிலைநாட்டப்பட்டன.

(a) எல்லா அணுக்களின் கட்டமைப்பிலும் எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. (b) முழு அணு மின்னூட்டம் இல்லாத நிலையில் இருப்பதால் அணுவில் உள்ள நேர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் எதிர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் சமமாக இருத்தல் வேண்டும். இவ்விரு முடிவுகளும் வழிகாட்ட தாம்சன் அணுவின் கட்டமைப்புப் பற்றிய தனது கருத்தோவியத்தை வெளியிட்டார்.

ஒரு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் கூடுதல் எண்ணிக்கை (total number) மற்றும் அணுவில் நேர்மின்னூட்டங்களுடன் எலெக்ட்ரான்களும் எம் முறையில் பரவியிருக்கின்றன என்ற இரு பிரச்சினைகளையும் தாம்சன் சமாளித்தார். எக்ஸ்-கதிர் சிதறலை வைத்துப் பின்வரும் முறையில் ஒரு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கண்டார். ஒரு எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றை ஒரு பொருளின் வழியே சென்றால் அது சிதறப்பட வேண்டும். தொன்மைக் கொள்கைகளின்படி சிதறல் எண்ணாகிய (scattering coefficient) $\sigma = \dfrac{8\pi e^2 n}{3m^2c^4}$ ஆகும். இங்கு e மற்றும் m என்பன முறையே எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் (charge) மற்றும் நிறை (mass) ஆகியவற்றையும் n என்பது ஒரு அலகு பருமனில் (1 க.செ.மீ.) உள்ள எலெக்ட்ரான்களையும் c என்பது ஒளியின் வேகத்தையும் குறிக்கின்றன. σ என்பதைச் செய்முறைகளின் மூலம் கண்டறியலாம். எனவே மேற்கண்ட தொடர்பினைப் பயன் படுத்தி, n-ன் மதிப்பினை அளவிடலாம். இவ்வாறு பெற்ற n-ன் மதிப்பிலிருந்து ஒரு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின்

எண்ணிக்கையை எளிதில் பெறலாம். இந்த எண் அணு எடைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருப்பது காணப்பட்டது. ஹைட்ரஜனுக்கு ஒன்றாக இருக்கும் இந்த எண் உயர்ந்து கொண்டே சென்று யுரேனியத்திற்கு 92 ஆக ஆகிறது.

அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்துள்ள முறைபற்றிய பிரச்சினை அவ்வளவு எளிதில் தீர்க்கக் கூடிய ஒன்று அன்று. இதற்கு உதவியாகச் செய்முறைக் குறிப்புகள் எதுவும் தாம்சனுக்குக் கிடைக்கவில்லை. ஆனால் முழு அணு மின்னூட்டம் அற்ற நிலையில் (neutral) இருப்பதால் நேர்மின்னூட்டம் நிலைமின் விசையைக் (electro static force) கொண்டு எலெக்ட்ரான்களைப் பிடித்துக் கொண்டிருக்க வேண்டும் என அவர் சுட்டிக் காட்டினார். மேலும் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின் அளவுள்ள சிறு கோளத்தில் சீராகப் பரவி இருக்கிறது என்றும் (இக் கருத்துக் கணித முறை ஆய்வுக்கு ஏற்றதாய் இருக்குமென அவர் எண்ணினார்.) அதே சமயத்தில் எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின்னூட்டக் கோளத்தினுள் அவைகளை மையத்தை நோக்கி ஈர்க்கு விசையும் அவைகளுக்கிடையே உள்ள எதிர்ப்பு விசையும் (repulsive) ஒன்றை ஒன்று சமன்படுத்தும் நிலையில் இருக்கின்றன என்றும் தற்புகோளாகக் கொண்டார். பின்னர் ஹைட்ரஜன் அணுவைப் போன்று ஒரு எலெக்ட்ரான் கொண்ட அணுவில் நேர்மின் கோளத்தின் மையத்தில் எலெக்ட்ரான் இருக்க வேண்டுமென்று கருதினார். இரண்டு எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட ஹீலியம் அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின் கோளத்தின் மையத்திலிருந்து, எதிர் எதிர் பக்கங்களில் அந்தக் கோள ஆரத்தின் பாதி அளவு தூரத்தில், சரிச்சீரமைவு கொண்டதாக அமைந்திருக்க வேண்டும் என்று அவர் கூறினார். இதே முறையில் சென்று தாம்சன் ஒன்று முதல் நூறு வரையிலான எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு நேர்மின் கோளத்தில் அமைந்திருக்கின்றன என்னும் விளக்கத்தைக் கூறினார்.

இத்தகைய மாதிரியை வைத்துத் தனிமங்களின் நிறமாலையை விளக்க முற்பட்டார். எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டங்கொண்ட துகள் ஆதலால் அதுதான் சமநிலைப் புள்ளியை (position of equilibriun) மையமாகக் கொண்டு அதிர்ந்தால், மின்காந்தக் கொள்கைக்கேற்ப அது ஆற்றலை வெளியிட வேண்டும். உமிழப்பட்ட கதிர்வீச்சின் அதிர்வு எலெக்ட்ரானின் அதிர்வு எண் எதுவோ அதுவாகவே இருக்கவேண்டும் என்று கூறினார். எளிய ஹைட்ரஜன் அணு $1400\,A^\circ$ அளவில் ஒரு நிறமாலை வரியினைத் (spectral line) தர வேண்டும் என அவர் நினைத்தார். இது ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் கண்ட வரி ஒன்றுடன் ஓரளவு ஒத்திருந்தது.

இவ்வாறு தாம்சனின் அணு மாதிரி அணுவின் மின்னூட்டமற்ற தன்மையின் கோரிக்கைகள், மின்காந்த அலைக் கொள்கையின் கோரிக்கைகள் இவைகளுக்கு ஏற்றதாய் அமைந்ததோடல்லாமல் ஓரளவு நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் (origin of spectral lines) பற்றியும் விளக்கம் அளித்தது. எனினும் மேற்கூறிய விளக்கப்படி ஹைட்ரஜன் ஒரே ஒரு நிறமாலை வரியினைத்தான் கொடுக்க இயலும். இது செய்முறையில் கண்ட உண்மைக்கு முரண்பாடாக இருக்கிறது. நடைமுறையில் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் பல தொடர்களும் (series) ஒவ்வொரு தொடரிலும் பல வரிகளும் (lines) காணப்படுகின்றன. எனவே தாம்சனின் அணு மாதிரியில் நிச்சயமாக எங்கோ பிழை இருத்தல் வேண்டும். விரைவிலேயே, கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து கிடைத்த ஆல்ஃபாக் கதிர்களைக் கொண்டு சிதறச் செய்து ரூதர்ஃபோர்டு (Ruther ford) என்பார் நடத்திய செய்முறை ஆராய்ச்சிகள் அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அணு அளவுள்ள கோளம் ஒன்றில் சீராகப் பரவியுள்ளது என்று தாம்சன் கூறிய கருத்து தவறு என்பதை நிரூபித்தன. ரூதர்ஃபோர்டு செய்து கண்ட செய்முறைக் குறிப்புகள் அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின் மையத்தில் ஒரு சிறு பகுதியில் பொதிந்து இருக்க வேண்டும் என்று வலியுறுத்தின. இது அணுக்கரு - அணுமாதிரி என்னும் புதிய கருத்தினை உருவாக்கியது.

ரூதர்ஃபோர்டின் அணுக்கரு – அணு மாதிரி

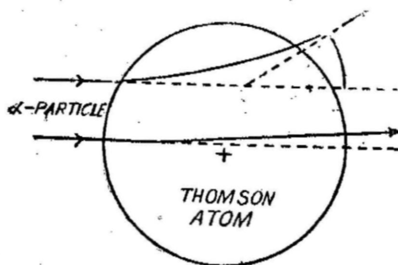
(Ruther fords Nuclear Atom model)

பொருளின் மெல்லிய படலங்களைக் கொண்டு α-துகள்களின் பெருங்கோணச் சிதறல் (large angle scattering) விளைவித்து ஆய்வுகள் நடத்தியதன் விளைவாக அணுக்கரு அணு மாதிரி உருவாயிற்று. நேர்மின்னூட்டமுடைய α-துகளுக்கும் சிதறச் செய்பொருளில் (scatterer) உள்ள அணுவின் நேர்மின்னூட்டத் திற்குமிடையே ஏற்படும் கொலூம்பின் விலக்கு விசையின் (coulombian repulsive forces) காரணமாக α-துகள் சிதறல் ஏற்படுகிறது. சிதறச் செய்யும் பொருளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் α-துகள்களின் நிறையுடன் ஒப்பிட மிகக் குறைந்த நிறை உடையன. எனவே α-துகள் பொருளின் வழியே செல்லும்போது எலெக்ட்ரான்கள் α-துகளைப் பெரிதும் பாதிப்பது இல்லை. α-துகள் பொருளை விட்டு வெளியேறும்போது அதன் பழைய பாதையிலிருந்து அது விலக்கமுறும் (deflection) அளவு பொருள் உள்ளே இருக்கும் பெருமளவு அணுக்களின் நேர் மின்னூட்டங்கள் தருகின்ற சிறு சிறு விலக்கங்களின் (deflections)

கூடுதல் விளைவே ஆகும். ஆகவேதான் இம்முறை கூட்டுச் சிதறல் (compound scattering) என்று கூறப்படுகிறது. பொருட்களின் மெல்லிய தகடுகள் (foils) வழியே α துகள்களைச் சிதறச் செய்தபோது அனேகமாக எல்லா α துகள்களும் சிறிதளவுதான் விலக்கம் பெற்றன என்றாலும் சில துகள்கள் பெருங் கோணங்களிலும் சிதறல் அடைந்ததைச் செய்முறைகள் காட்டின. எடுத்துக்காட்டாக மெல்லிய பிளாட்டினம் தகடு 8000 ஆல்ஃபாத் துகள்களில் ஒரு துகளை 90° க்கும் மேற்பட்ட கோணத்தில் கோட்ட முறச் செய்கிறதெனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. செயல் முறையில் கண்ட இவ் வுண்மைக்குத் தாம்சனின் அணு மாதிரியின் அடிப்படையில் காரணம் கூற இயலாது. ஏனெனில் தாம்சன் கூறியவாறு கட்டமைப்புக் கொண்ட அணுவின் ஒரே ஒரு எதிர்ப்படுதலினுல் (encounter) அதிக விலக்கம் ஏற்பட்டுவிட முடியாது என்பதை எளிதில்



ருதர்ஃபோர்ட்



படம் 151. தாம்சன் அணு மாதிரியில் α துகள் சிதறல்

காட்டலாம். ஒரு α துகள் நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட கோளத்தில் நுழைந்தால் அதன் பாதைக்கு வெளியில் உள்ள கூட்டின் மின்னூட்டம் துகளை விலக்கமுறச் செய்வதற்கான விசையைத் தராது. எனவே துகளின் பாதை மையத்திலிருந்து எட்டிச்

செல்லச் செல்ல விலக்க முறச் செய்யும் விசை (deflecting force) கூடுகிறது. α துகள் கோளத்தைத் துளைத்துக் கொண்டு அணுவின் மையத்தை நெருங்கும்போது விலக்குவிசை குறைந்து விடுகிறது. (படம் 151) இதிலிருந்து ஒரே ஒரு எதிர்ப்படுதலினுல் பொருங் கோணச் சிதறல் ஏற்பட வாய்ப்பு இல்லையென்பது தெரிகிறது. நிகழ்வதற்கு வாய்ப்புள்ள சிதறல் கோணத்தினை அணு மின்னூட்டத்தின் சார்பலனுக (function) கணக்கிட்டுள்ளனர்.

$$\text{அதாவது } N\varphi = N_0\, e^{-\left(\frac{\varphi}{\phi_m}\right)^2} \text{ என்பதாகும்.}$$

இங்கு $N\varphi$ என்பது φ என்னும் கோணத்தில் சிதறப்படும் α துகள்களின் எண்ணிக்கை N_0 என்பது சிதறச் செய்யும் பொருள்களின் மேல் விழுகின்ற α துகள்களின் எண்ணிக்கை φ_m என்பது நிகழ்த்திறம் (probability) அதிகமுள்ள சிதறல் கோணத்தின் அளவு. மேற்கண்ட தொடர்பில் φ-ன் மதிப்பு அதிகமாகும்போது N_0 மிக விரைவாகக் குறைவதால் பெருங் கோணச் சிதறலுக்கான நிகழ்திறம் மிகமிகக் குறைவு என்பது தெளிவாகிறது. எடுத்துக் காட்டாக $\varphi = 30°$ என்ருல் நிகழ்திறன் 10^{-18} என்னுமளவில் இருக்கிறது. ஆகவே பெருங்கோணச் சிதறலுக்கான காரணத்தை முற்றிலும் விளக்க தாம்சனின் அணு மாதிரியால் முடியவில்லை.

எனவே 1911-ல் ருதர்ஃபோர்ட் ஒரே ஒரு எதிர்ப்படுதல் மூலம் (single encounter) α துகளுக்குப் பெரும் விலக்கம் (large deflection) அளிப்பதற்கு ஏற்ற புதிய அணு மாதிரியை உருவாக்கினுர். α துகள் அணு வழியாகச் செல்லும்போது அதன் பாதையில் ஏதோ ஒரு இடத்தில் தாம்சனின் அணு மாதிரியில் கிடைத்ததைவிட, அதிக அளவுள்ள (விலக்கமுறச் செய்யும் விசை) விலக்கு விசை கொடுக்கப்பட வேண்டும். அணு அளவுள்ள கோளத்தில் நேர் மின்னூட்டம் சீராகப் பரவி இருப்பதற்குப் பதிலாக அணுவின் மையப் பகுதியில் செறிந்து இருந்தால் மட்டுமே மேற்கூறியவாறு அதிக விலக்க விசையை அளித்தல் இயலும். நேர் மின்னூட்டம் அத்தனையும் பொதிந்துள்ள அம் மையப் பகுதி அணுக்கரு (nucleus) எனப்படும். அதன் விளைவாக எலெக்ட்ரான்கள் அணுக் கருவுக்கு வெளியே ஏதோ ஒரு வடிவில் அமைந்திருப்பதாகக் கருதப்பட்டது. இவ்வாறு ருதர்ஃபோர்டு அணுக்கரு—அணுமாதிரி பற்றிய கருத்தினைப் பெற்ருர். முன்பு பயன்படுத்திய அதே நிகழ்திற விதிகளைப் (probability laws) பயன் படுத்தி பெருங்கோணச் சிதறல் அடையும் α துகள்களின் விகிதம் தாம்சனின் அணுவில் இருந்ததைவிட

அதிகமாயிருப்பது காட்டப்பட்டது. இறுதியாக ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் விலக்கமுறும் α துகள்களின் எண்ணிக்கையைப் பெறுவதற்கான ஒரு சமன்பாட்டைக் கண்டு அணுக்கரு—அணு மாதிரிக்கு ஆதரவான முடிவுக்கு வந்தார்.

α துகள் சிதறல் பற்றிய கொள்கை (Theory of the scattering of α–particles) :

ஓரளவு சிக்கல் நிறைந்த α துகள் சிதறல் பற்றிய இக் கொள்கையை எளிதாக்கும் பொருட்டுப் பின்வரும் தற்கோள்கள் (assumption) கொள்ளப்பட்டுள்ளன.

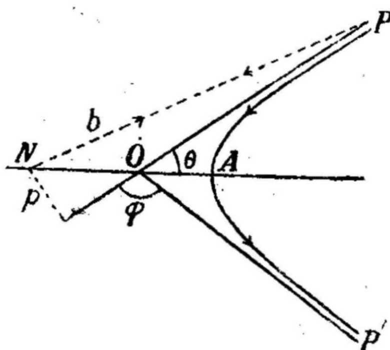
(1) முதுபழங் கொள்கைக்கேற்ப இச் சிக்கல் நோக்கப்படுகிறது. அதாவது α துகள் மற்றும் அணுக்கரு ஆகிய துகள்களின் மீண்டெழு மோதலினால் (elastic impact) சிதறல் ஏற்படுகிறது என்று கொள்ளப்படுகிறது. துகள்களின் அலை இயல்பு கவனிக்கப்படவில்லை.

(2) அணுக் கருவும் α துகளும் புள்ளி மின்னூட்டங்களாக (point charges) கருதப்பட்டுள்ளன. அதாவது கொலும்பின் ஆற்றல் மையங்களாகக் (centres of force) கருதப்பட்டுள்ளன. பின்னிச் செயல்படும் துகள்களின் பருமன்கள் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படவில்லை.

(3) மோதலின் போது அணுக் கருவின் இயக்கம் ஒதுக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்கிறது என்று சொல்லும்படி அணுக் கரு கனம் அதிகமுள்ளதாக இருக்கிறது.

N என்னுமிடத்தில் அசையாது இருக்கும் கனமான அணுக் கருவினை நோக்கி r_0-வின் வழியாக ஒரு α துகள் செல்வதாகக் கொள்வோம் (படம் 152) α துகள் மற்றும் அணுக்கரு இவை இரண்டுமே நேர் மின்னூட்டங் கொண்டிருப்பதால் அவைகளுக்கிடையே கொலும்பின் எதிர்விகித இருமடி விதிக்கு (Coulomb's law of inverses quares) ஏற்ப விலக்க விசை உண்டாகிறது. α துகள் அணுக் கருவின் அருகே நெருங்க நெருங்க இவ் விசை அதிகமாகும். மையப் பாதை இயக்கத்தின் பண்புகளை (properties of motion in central orbit) அணுக் கருவால் எதிர்த்துத் தள்ளப்பட்ட α துகளுக்குப் பயன்படுத்தி α துகளின் பாதை PAP' என்னும் அதிபரவளையமாக (hyperbola) மாறும் எனக் காட்டலாம். இந்த அதிபரவளையத்தின் குவியங்களுள் N என்பது ஒன்று PQ மற்றும் $P'O$ என்னும் ஈறிலித் தொடு

கோடுகள் (asymptotes) ∝ துகள்களின் ஆரம்பத் திசையையும் இறுதித் திசையையும் குறிக்கின்றன.



படம் 152.

N-ல் இருந்து Po-க்கு உள்ள நேர்க்குத்துத் தூரம் p எனக் கொள்வோம். அதாவது துகளின் ஆரம்பத் திசைக்கும் அணுக் கரு இருக்குமிடத்திற்கும் உள்ள மிகக் குறைந்த தூரம் இதற்கு மோதலகம் (impact parameter) என்று பெயர். m என்பது ∝ துகளின் நிறை என்றும் $2e$ என்பது அதன் மின்னூட்டம் என்றும், v_0 என்பது அதன் ஆரம்ப வேகம் என்றும் கொள்வோம். Z என்பது ∝ துகளைச் சிதறச் செய்யும் பொருளின் அணு எண் எனக் கொள்வோம். ஆகவே Ze என்பது அணுக் கருவில் உள்ள மின்னூட்டம் ஆகும். ∝ துகளின் சிதறு கோணம் φ என்பது வெளிப்படை (படம் 152).

φ என்னும் கோணத்தின் அளவு, அணுக் கருவின் மின்னூட்டமாகிய Ze, ∝ துகளின் மின்னூட்டம் $2e$, அதன் நிறை m, வேகம் v_0 மற்றும் மோதலகம் p இவைகளைப் பொறுத்து இருக்கிறது.

φ-க்கான சமன்பாடு ஒன்றைப் பெறும் பொருட்டு இதை ஒரு மையத்தாக்காகக் (central impact) கருதுவோம்.

∝ துகள் Nஐ நோக்கி நேராகச் செலுத்தப்பட்டால் $p=0$ ஆகும். விலக்க விசை காரணமாக அணுக் கருவிலிருந்து b என்னும் ஒரு தூரத்தில் ∝ துகள் தடுத்து நிறுத்தப்பட்டுப் பின்னர் வந்த வழியே திருப்பி அனுப்பப்படும். அப்போது φ என்பது $180°$ ஆகும். ஆற்றல் அழியா விதியைக் கொண்டு

மிகக் குறைந்த நெருங்கு தூரமாகிய (distance of closest approach) bஐக் கணக்கிடலாம். அணுக் கருவினுல் b என்னும் தூரத்தில் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம் (electrostatic potential) $= \frac{Ze}{b}$. இது α துகளின் மின்னூட்டமாகிய $2e$ என்பதன் மீது செயல்படுகிறது. எனவே α துகள் அணுக் கருவிலிருந்து b என்னும் தூரத்திலிருக்கும்போது அதற்குள்ள நிலை ஆற்றல் (potential energy)

$$= \left(\frac{Ze}{b}\right) \cdot 2e = \frac{2\,Ze^2}{b}$$

α துகள் b என்னும் தூரத்தில் கண நேரம் (instant) நிறுத்தப்படுவதால் அதன் ஆரம்ப இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) அத்துணையும் நிலையாற்றலாக (potential energy) மாற்றப்பட்டிருத்தல் வேண்டும். விளிம்பில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுடன் (peripheral electrons) α துகள் பின்னிச் செயல்படும்போது (interact) அது இழக்கின்ற சிறிதளவு ஆற்றலைக் கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளாது விட்டுவிட்டால்,

$$\tfrac{1}{2}\,mv_0^{\,2} = \frac{2\,Ze^2}{b} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } b = \frac{4\,Ze^2}{mv_0^{\,2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

நடைமுறையில் α துகளை அணுக் கருவுக்கு நேராகச் சரியாக அனுப்ப இயலாது. ஆகையால் $P \neq 0$ என்று இருக்கும் நிலையை நாம் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இந் நிலையில் α துகள் $180°$-க்குக் குறைவான φ என்னும் கோணத்தில் விலக்கமுற்று PAP' என்னும் அதிபர வளைய வடிவப் பாதையில் செல்லும்.

A என்னும் உச்சியில் α துகளின் வேகம் V எனக் கொள்வோம். ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் அழியாச் சட்டங்களைப் பயன்படுத்தி,

$$\tfrac{1}{2}\,mv_0^{\,2} = \tfrac{1}{2}\,mV^2 + \frac{2\,Ze^2}{NA} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

$$mv_0 p = mV.\ NA \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

ஆகிய சமன்பாடுகளைப் பெறலாம். சமன்பாடு (1)-லிருந்து $2\,Ze^2$ என்பதற்கு $\frac{1}{2}\,bmv_0^{\,2}$ என்று பதிலீடு செய்ய சமன்பாடு (2) என்பது,

$$\frac{1}{2} m v_0{}^2 = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{b m_0 v^2}{NA}\right)$$ என்றாகும்.

$$\therefore \quad V^2 = v_0{}^2\left(1 - \frac{b}{NA}\right)$$

அல்லது $\frac{V^2}{v_0{}^2} = \left(1 - \frac{b}{NA}\right)$

சமன்பாடு (3) லிருந்து

$$p^2 = \frac{V^2}{v_0{}^2} \cdot NA^2$$

$$= NA^2\left(1 - \frac{b}{NA}\right)$$

$$= NA\,(NA - b)$$

அதிபரவளயத்தின் பண்புகளாகிய

$$\varepsilon = \frac{1}{\cos\theta}$$

இங்கு $\theta = \left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)$ மற்றும் $NO = \varepsilon OA$ என்பவை களைப் பயன்படுத்தி

$$NA = NO + OA$$

$$= NO\left(1 - \frac{OA}{NO}\right)$$

$$= NO\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)$$

$$= NO\,(1 + \cos\theta)$$

$$= \left(\frac{p}{\sin\theta}\right)\left(1 + \cos\theta\right)$$

$$= p\left(\frac{1 + 2\cos^2\frac{\theta}{2} - 1}{2\sin\frac{\theta}{2}\cdot\cos\frac{\theta}{2}}\right)$$

$$= p. \cot \frac{\theta}{2}.$$

$$\therefore \quad p^2 = p \cot \frac{\theta}{2}\left(p \cot \frac{\theta}{2} - b \right)$$

அல்லது,

$$p = p \cot^2 \frac{\theta}{2} - b. \cot \frac{\theta}{2}.$$

$$\therefore \quad b = p\left(\frac{\cot^2 \frac{\theta}{2} - 1}{\cot \frac{\theta}{2}}\right)$$

$$= 2\, p \cot \theta.$$

$$= 2\, p \cot \left(\frac{\pi - \varphi}{2}\right)$$

$$b = 2\, p. \tan \frac{\varphi}{2}$$

சமன்பாடு (1).லிருந்து b–க்குப் பதிலீடு செய்ய,

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{2p}$$

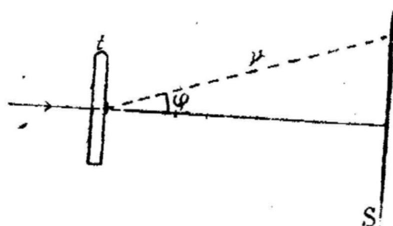
$$= \frac{2Ze^2}{pmv_0^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

Z, m, v_0 இவை மாருமல் வைக்கப்பட்டிருக்கும் போது p என்னும் மோதலகம் மிக அதிக மதிப்பிலிருந்து சுழி வரைக்கும் குறையும்போது φ என்னுங் கோணம் $0°$-லிருந்து $180°$-க்கு அதிகரிக்கிறது. இதிலிருந்து α துகள் அணுக் கருவிலிருந்து அதிக தூரம் சென்றுவிட்டால் (அதாவது p மிகப் பெரிதாக இருந்தால்) சிதறல் கோணம் மிகச் சிறியதாக இருக்கும். p என்னும் தூரம் குறையும்போது அதாவது α துகள் அணுக் கருவினை நெருங்கிச் செல்லச் செல்ல சிதறல் கோணம் பெரிதாகிக் கொண்டே சென்று, முடிவில் மைய மோதலின் போது $(p = 0)$ $\varphi = 180°$ ஆகும். அதாவது α துகள் அணுக் கருவின் அருகே b என்னும் தூரம்வரை நெருங்கி வந்த பின்பு வந்த வழியே திருப்பி அனுப்பப்படும்.

இனி நாம் நடைமுறைச் சோதனையில் நிகழ்வதைப் பார்ப்போம். இங்கு ஒரு மெல்லிய α துகள் கற்றை சிதறச் செய்யும் பொருளின் மெல்லிய தகட்டில் நேர்க்குத்தாக விழுகிறது.

சிதறப்பட்ட துகள்கள் நாம் பார்க்கும் திசைக்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள ஒளிர்திரை ஒன்றில் (fluorescent screen) ஏற்படுத்தும் மினுமினுப்புகளினுல் அறியப்படுகின்றன.

t என்னும் தடிப்புக் கொண்ட சிதறச் செய்யும் பொருளின் ஒரு அலகுப் பருமனில் n அணுக்கள் இருப்பதாகவும், சிதறச் செய்யும் பொருளின் ஒரு அலகுப் பரப்பில் மோதுகின்ற α துகள்களின் எண்ணிக்கை Q என்றும் கொள்வோம். எளிய நிகழ்திற ஆய்வுகளைக் கொண்டு φ என்னும் கோணத்தில் சிதறி r தூரத்தில் அமைந்த S என்னும் ஒளிர்திரையின் ஒரு அலகுப் பரப்பில் (1 ச. செ. மீ.) மோதும் α துகளின் எண்ணிக்கையாகிய Nஐ பின்வருமாறு மதிப்பிடலாம் (படம் 153) வாயுவின் மூலக்கூறு



படம் 153.

களைப் போல சிதறச் செய்யும் பொருளின் அணுக்கள் அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாகப் பரவிக் கிடப்பதாக வைத்துக் கொண்டு சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தைக் (mean free path) காண்பதற்கு இயக்கக் கொள்கையில் (kinetic theory) பயன்படுத்தும் கோட்பாடுகளைப் பயன்படுத்தினுல் ஒரு அணுக் கருவின் மோதலகம் (impact perameter) p-ன் தூரத்திற்கு வரக்கூடிய α துகள்களின் எண்ணிக்கை,

$$= \pi p^2 Q . t n \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

எனவே p மற்றும் $p+dp$ ஆகியவைகளுக்கு இடையே மோதலகத்தை உடைய α-துகள்களின் எண்ணிக்கை,

$$d (\pi p^2 Q t n) = 2\pi p Qn . t . dp \text{ ஆகும்.}$$

மோதலுக்குப் பின்னர் இத் துகள்கள் φ மற்றும் $\varphi + d\varphi$ ஆகிய கோணங்களுக்கிடைப்பட்ட கோணத்தில் கோட்டமுறுகின்றன. இவ்வாறு φ மற்றும் $\varphi + d\varphi$ ஆகிய கோணங்களுக் கிடையே சிதறிய α துகள்களின் எண்ணிக்கை,

$$= 2\pi Q . n . t p . dp \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

சமன்பாடு (4) லிருந்து,

$$p = \frac{1}{2} b \cot \frac{\varphi}{2} \text{ மற்றும்}$$

$$dp = \frac{1}{2} b \,.\, \times \left(-\frac{1}{2}\right) \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2} \,.\, d\varphi$$

இம் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (6)ல் பதிலீடு செய்ய φ மற்றும் $\varphi + d\varphi$ ஆகிய கோணங்களுக்கிடையே சிதறிய α துகள்களின் எண்ணிக்கை,

$$2\pi\, Q\, n\, t \times \frac{1}{2} \,.\, b \cot \frac{\varphi}{2} \times \left(-\frac{1}{4}\right) b \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2} \,.\, d\varphi$$

ஆகும்.

$$= -\frac{1}{4} \pi Q\, n\, t\, b^2 \cot \frac{\varphi}{2} \,.\, \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2} \,.\, d\varphi$$

இந்த α துகள்கள் எல்லாம் $2\pi r \sin\varphi \,.\, r d\varphi = 2\pi r^2 \sin\varphi \,.\, d\varphi$ பரப்பளவுள்ள கங்கண வடிவுக்குள் (circular annulus) ஒளிர் திரையில் படுகின்றன. எனவே திரையின் ஒரு அலகுப் பரப்பில், படுதிசையிலிருந்து (incident direction) φ கோணச் சாய்வில் விழுகின்ற α துகள்களின் எண்ணிக்கை N,

$$N = \frac{\frac{1}{4} \pi\, Q\, n\, t\, b^2 \,.\, \cot \frac{\varphi}{2} \,.\, \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2} \,.\, d\varphi}{2\pi\, r^2 \sin\varphi \,.\, d\varphi}$$

$$= \frac{Q.\, n.\, t\, b^2 \,.\, \cot \frac{\varphi}{2} \,.\, \operatorname{cosec}^2 \frac{\varphi}{2}}{8\, r^2 \,.\, 2 \sin \frac{\varphi}{2} \,.\, \cos \frac{\varphi}{2}}$$

$$= \frac{Q.\, n.\, t\, b^2}{16\, r^2 \sin^4 \frac{\varphi}{2}}$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து b-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய,

$$N = \frac{Qnt.\ 16 Z^2 e^4}{16 r^2\, m^2\, v_0^4 \,.\, \sin^4 \frac{\varphi}{2}}$$

$$= \frac{Q\, n\, t\, Z^2\, e^4}{r^2\, m^2\, v_0^4 \,.\, \sin^4 \frac{\varphi}{2}}$$

ரூதர்ஃபோர்டின் அணுக்கரு-அணு (nuclear atom) பற்றிய கருத்துச் சரியென்ருல், மேற்கூறிய சமன்பாட்டின்படி N என்பது

(i) $\dfrac{1}{\sin^4 \dfrac{\varphi}{2}}$.,

(ii) சிதறச் செய்யும் பொருளின் தடிப்பாகிய t.,

(iii) Z^2 சிதறச் செய்யும் பொருளின் அணு எண்ணின் இருமடி (square) மற்றும்,

(iv) $\left(\dfrac{1}{mv_0^{\,2}}\right)^2$

ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கவேண்டும்.

இவ்வாறு தற்கோள் வழியில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட முடிவுகள் செய்முறையில் ரூதர்ஃபோர்டு மற்றும் அவருடன் உழைத்த கைகர் (Geiger) மார்ஸ்டன் (Marsden) மற்றும் சாட்விக் (Chadwick) ஆகியோரால் சோதித்து அறியப்பட்டன. மேலும் செய்முறைக் குறிப்புகள் அணுக் கருவின் அளவைக் கணக்கிடுவதற்கு வழிசெய்தன. அணுக் கருவின் அளவு 10^{-12} செ. மீ. அளவினதாக இருந்தது. அணுவின் அளவு 10^{-8} செ. மீ. ஆகவே அணுக்கரு அணுவில் மிகச் சிறிய பகுதியில் இருக்கிறது என்பதை இது காட்டுகிறது. அணுக் கருவுக்கும் அணுவின் வெளி எல்லைக்கும் இடையே உள்ள இடத்தில் மிகக் குறைந்த எலெக்ட்ரான்களே இருக்கின்றன. அவற்றின் அளவு ஏறக்குறைய அணுக் கருவின் அளவினதே ஆகும். எனவே அணுவில் வெற்றிடமே அதிகம் என்று கூறப்பட்டது. α துகள்களின் சிதறல் பற்றிய செய்முறைகள் ரூதர்ஃபோர்டின் அணுக்கரு-அணுக் கொள்கையை எல்லோரும் உடனே ஒப்புக்கொள்ளுமளவுக்கு மெய்ப்பித்தன.

ஆனால் விரைவிலேயே ரூதர்ஃபோர்டு தான்கண்ட அணு மாதிரி குறைகள் அற்றது அன்று என்பதை உணர்ந்தார். அவர் உணர்ந்த குறைகளில் முக்கியமானது அணுக்கருவுக்கு வெளியே உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் பங்கீடு (distribution) மற்றும் அணுவின் நிலைத்த தன்மை (stability) இவை பற்றி யெழுந்தன ஆகும். ஏனெனில் 'அணுக்கரு—அணுவில்' (nuclear atom) நிலை மின்விசைகளைக் (electro static forces) கொண்டு மட்டும் நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கருவுக்கும் எதிர் மின்னூட்டங் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களுக்கு மிடையே சமநிலை (equilibrium)

ஏற்படுத்த இயலாது. எடுத்துக்காட்டாக இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் உள்ள ஒரு அணுவில் அணுக்கரு மின்னூட்டம் $2e$ இருக்கும். எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவிலிருந்து r என்னும் தூரத்தில் சரிச்சீரமைவுடன் (symmetrical) வைக்கப்பட்டிருந்தால் அணுக்கருவுக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒவ்வொன்றுக்கும் உள்ள ஈர்ப்பு விசை $\frac{2e^2}{r^2}$ ஆகும். அதே சமயத்தில் எலெக்ட்ரான்களுக்கிடையே உள்ள எதிர்ப்பு விசை $\frac{e^2}{4r^2}$ ஆகும். ஈர்ப்பு விசை எதிர்ப்பு விசையைப்போல் 8 மடங்கு பெரிதாய் இருக்கிறது. சமநிலைவிதி ஒவ்வாமையினால் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவினுள் சென்று விழுந்துவிட அணுவின் நிலையான கட்டமைப்புக் குலைந்து விடும். இச் சிக்கலிலிருந்து விடுபட, வான்கோள்கள் (planets) கதிரவனைச் சுற்றி வருவது போல, எலெக்ட்ரான்கள் அணுவில் அதிகப்படியாக உள்ள நிலையின் ஈர்ப்பு விசையை சமநிலைப் படுத்துவதற்குப் போதுமான மைய விலக்கு விசையைத் (centrifugal force) தரக் கூடிய வேகத்துடன் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருகின்றன என்று கொள்ளலாம் என்றும் அதன் மூலம் அணுவின் நிலைத்த கட்டமைப்பினை அடையலாம் என்றும் ரூதர்ஃபோர்டு கருதினார்.

ஆனால் இத் தற்புனை விளைப்பின் தொடர்ந்து மின்காந்தக் கொள்கை சம்பந்தமான ஒரு பெருஞ் சிக்கல் எழுந்துவிட்டது. அக் கொள்கையின் படி சுழலும் எலெக்ட்ரான் தொடர்ந்து ஆற்றலை வீசிக் கொண்டிருத்தல் வேண்டும். இந்த ஆற்றல் அணுவின் அமைப்பிலிருந்துதான் வர வேண்டும். எனவே அது சிறிது சிறிதாக ஆற்றலை இழக்கும். இதன் விளைவாக நிலையாக அதிகமாகிக் கொண்டே செல்லும் அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சினை வெளியிட்டுக் கொண்டே, எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவினை நோக்கி உட்சுழிக் கோட்டுப் பாதை (spiral path) வழியே சென்று இறுதியில் அணுக்கருவில் போய் விழுந்துவிடும். இவ்வாறு எலெக்ட்ரான்களின் விதி இயக்கம் (orbital motion) அது எந்த காரியத்திற்காகப் புனையப்பட்டதோ அதையே குலைத்துவிட்டது.- அதாவது அணுவின் கட்டமைப்பைக் குலைத்துவிடுகிறது. மேலும் ஒரே அளவாக அதிகரிக்கும் அதிர்வு எண்கள் கொண்ட கதிர் வீச்சுகள் வெளிவருகின்றன என்பதற்கான செயல்முறை ஆதாரங்கள் ஏதும் இல்லை. ஏனெனில் தனிமங்கள் உண்மையில் குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண் கொண்ட தனித்தனியான நிறமாலை வரிகளைத் தான் கொடுக்கின்றன என்பது நடைமுறையில் காணுகின்ற உண்மையாகும். எனவே சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்களைக்

கொண்ட ரூதர்ஃபோர்டின் 'அணுக்கரு-அணுமாதிரி' குறை பாடுகள் உள்ளது என்றோ அல்லது இது சம்பந்தப்பட்டவரை முது பழம் மின்காந்தக் கொள்கை தோல்வியுற்று விட்டது என்றோ நினைக்க வேண்டியிருக்கிறது. 1913-ல் நில்ஸ்போர் (Niels Bohr) என்பார் முதுபழங் கொள்கையின் தோல்வியை ஒப்புக் கொண்டு ரூதர்ஃபோட்டின் சுழலும் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட 'அணுக் கரு அணு மாதிரிக்கு' குவாண்டம் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி இக் குழப்பத்தைத் தீர்த்தார்.

போரின் அணு மாதிரி

(Bohr's atom model)

போர், அணு பற்றிய தனது கொள்கையைக் குவான்டம் கொள்கைக்கு ஏற்புடைய, பின்வரும் இரு எடு கோள்களின் (postulates) மேல் அமைத்தார்.

(i) முதுபழங் கொள்கை கூறியதுபோல எலெக்ட்ரான்கள் விரும்பும் எல்லா விதிகளின் வழியாகவும் சுற்றி வர இயலா தென்றும், வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றலுடைய அனுமதிக்கப்பட்ட (permitted) விதிகள் வழியாகத்தான் சுற்றிவர இயலும் என்று எலெக்ட்ரான்கள் பற்றிய முதல் எடு கோள் (postulate) கூறுகிறது. இவ் விதிகளைச் சலுகை பெற்ற விதிகள் (privileged orbits) எனக் கொள்ளலாம். மேலும் அவைகளை மாருதனவாகவும், அசையாதனவாகவும் கருதுதல் வேண்டும். ஏனெனில் அவைகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் இயக்கம் சாதாரண விசையியல் (mechanics) மற்றும் நிலைமின் இயல் (electro statics) விதிகளுக்குக் கட்டுப்படுகிறது என்ருலும் தொடர்ந்த கதிர்வீச்சுப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும் என்னும் மின்காந்தக் கொள்கைக்குக் கட்டுப்பட்டதல்ல. இதையே வேறு முறையில் சலுகை பெற்ற ஆற்றல் விதிகள் என்பன எலெக்ட்ரானின் கதிர்



பேராசிரியர் போர்

வீச்சு அற்ற பாதைகள் என்று சொல்லலாம். இவ்வாறு அணு வின் நிலைத்தன்மை பற்றிய சிக்கல் நீக்கப்பட்டது.

(ii) ஒரு எலெக்ட்ரான் அதற்குரிய வீதியிலிருந்து இன்னொரு வீதிக்குத் தாவும் போதுதான் ஆற்றல் கதிர்வீச்சு ஏற்படுகிறது என்னும் இரண்டாவது எடுகோள் நிறமாலைக் கோடுகளின் பிறப் பிடம் பற்றிக் கூறுகிறது. இவ்வாறு வீசப்பட்ட ஆற்றல் அவ்விரு விதிகளுக்கும் உரிய ஆற்றல் வித்தியாசம் ஆகும். இது $h\nu$ அளவுள்ள ஒரு குவாண்டமாக (quantum) இருக்க வேண்டும்.

எல்லாத் தனிமங்களையும் விட எளிதானதும், நிறமாலைகள் சம்பந்தமாக முன்பே தீவிரமான ஆராய்ச்சிகளுக்கு உட்பட்டதும், அணு ஒன்றுக்கு ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரானை மட்டுமே கொண் டுள்ளதுமான ஹைட்ரஜன் அணுவில் போர் தனது கருத்துகளைப் பயன்படுத்தினர். ருதர்ஃபோர்டின் அணுமாதிரிக்கு ஏற்ப ஹைட் ரஜன் அணு ஒரு நேர் மின்னூட்டமுடைய அணுக் கருவினையும், அதைச் சுற்றிவரும் ஒற்றை எலெக்ட்ரானையும் பெற்றிருத்தல் வேண்டும். எலெக்ட்ரானின் பாதையை அணுக்கருவை மையத்தில் கொண்ட வட்டமென்று தோராயமாக முதலில் கொள் ளலாம். ஏனெனில் இத்தகைய விதி வழிப்பட்ட இயக்கத்திற்கு (orbital motion) விசையியல் மற்றும் நிலை மின்னியல் விதிகள் பொருத்தமாக இருக்கக்கூடும். எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு முறை மற்றும் நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் (origin of spectral lines) ஆகிய இரு பிரச்சினைகளுக்கும் போர் பின் வருமாறு தீர்வு கண்டார்.

எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (Electronic structure) :

சலுகை பெற்ற வீதிகளின் பொதுவான ஆற்றல் நிலைகள் (quantum states) பற்றி முதலில் அறிந்து கொள்ளுதல் வேண்டும். அதற்கு நேர்க்கோட்டு நேரிசை அலைப்பானை (linear simple horm-onic oscllator) எடுத்துக் கொள்வோம். ஏதாவது t என்னும் ஒரு நேரத்தில் அதன் இடப் பெயர்ச்சி x என்போம்.

$$x = A \sin 2\pi\nu t \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1)$$

இதில் A என்பது வீச்சினையும் (amplitude) ν என்பது அதிர்வு எண்ணையும் குறிக்கின்றன. நாம் எடுத்துக் கொண்ட அக் கணத்தில் (instant) அலைப்பானின் (ascillator) இயக்க ஆற்றல்

$$= \tfrac{1}{2}\, m. \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \text{ ஆகும்.}$$

இதில் m என்பது அலைப்பானின் நிறை

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)$$

என்பது நீட்டத்திசை வேகம் (lunear velocity) சமநிலைப் புள்ளியில் (equilibrium point) அலைப்பானின் ஆற்றல் முழுதும் இயக்க ஆற்றலாகவும், பெரு இடப் பெயர்ச்சி (maximum dis placement) உள்ள இடத்தில் முழுவதும் நிலை ஆற்றலாகவும் மாறுகிறது. எனவே அலைப்பான் சமநிலைப் புள்ளியில் இருக்கையில் அதன் இயக்க ஆற்றலை அளப்பதன் மூலம் முழு ஆற்றலின் அளவையும் கணக்கிடலாம். எனவே அலைப்பானின் முழு ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2}\ m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \text{ பெருமநிலையில்,}$$

சமன்பாடு (1)-லிருந்து $\frac{dx}{dt} = 2\pi \nu A \cos 2\pi \nu t$

ஆகவே $\left(\frac{dx}{dt}\right)$ பெரும நிலையில் $= 2\pi \nu A$

ஏனெனில் $\cos 2\pi \nu t$-ன் பெரும மதிப்பு $= 1$

$\therefore$ முழு ஆற்றல் $= \frac{1}{2}m\ (2\pi \nu A)^2$

$$= 2\pi^2 \nu^2 A^2 m.$$

குவாண்டக் கொள்கைப்படி இவ்வாற்றல் $h\nu$ என்பதன் முழு எண் மடங்குகளாக இருக்கவேண்டும்.

$\therefore \quad nh\nu = 2\pi^2 \nu^2 A^2 m$ இங்கு n என்பது ஒரு முழு எண் ஆகும்.

$$\therefore \quad nh = 2\pi^2 A^2 \nu m.$$

t என்னும் நேரத்தில் அலைப்பானின் (oscillator) உந்தம் P_x எனக் கொண்டால்

$$P_x = m\left(\frac{dx}{dt}\right)$$

$$= m\ 2\pi \nu A\ \cos 2\pi \nu t$$

$m2\pi\nu A$ என்பதற்குப் பதிலாக B என்றிட

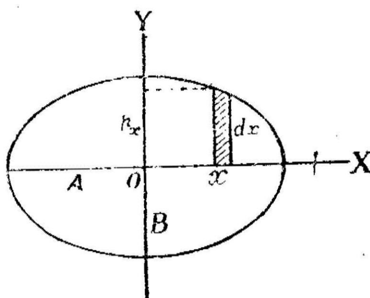
$$P_x = B.\cos 2\pi\nu t$$

$$\therefore \quad \frac{P_x}{B} = \cos 2\pi\nu t$$

சமன்பாடு (1) லிருந்து $\frac{x}{A} = \sin 2\pi\nu t$

$$\therefore \quad \frac{x^2}{A^2} + \frac{P_x^2}{B^2} = 1.$$

இதிலிருந்து P_x மற்றும் x இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பு நீள் வட்டத்தால் (ellipse) குறிக்கப்படுகிறது. P_x-க்கும் x-க்குமாகப் புள்ளிகளைக் குறிப்பதால் A என்பதை அரை நெட்டச் சாகவும் (semi major axis) B என்பதை அரைக்குற்றச் சாகவும் (semi minor axis) உடை ஒரு நீள்வட்டம் கிடைக்கிறது. இத்தகைய ஒரு



படம் 154.

நீள் வட்டத்தில் ஆயங்களின் மையத்திலிருந்து x தூரத்தில் உள்ள ஒரு சிறு பகுதியின் (element) அகலம் d_x என்றும் p_x என்பது x-க்கு உரிய y ஆயத் தொலை தூரம் (y co-ordinate) என்றும் கொள்வோம். எடுத்துக் கொண்ட சிறு பகுதியின் பரப்பு $= p_x d_x$. $p_x d_x$ ஐ முழுச் சுற்றுக்குத் தொகுதி காணில் ஓரை வட்டத்தின் பரப்பளவினைக் கணக்கிடலாம், இதற்குக் கலைத்தொகுதி (phase integral) என்று பெயர். இது $\oint pxdx$. என்பதால் குறிக்கப்படு கிறது.

$$\oint pxdx = \text{நீள்வட்டத்தின் பரப்பு}$$

$$= \pi . A . B$$

$$= 2\pi^2 A^2 \nu m$$

$$= nh \quad \ldots \ldots \ldots \text{(சமன்பாடு 2-ல் இருந்து)}$$

இவ்வாறு ஒரு நேரிசை அலைப்பானின் (linear oscillator) கலைத் தொகுதி h என்னும் ப்ளாங்க் மாறிலியின் (plank's constant) முழு எண் மடங்காகும்.

நேரிசை அலைப்பானுக்குச் (simple harmonic oscllator) சமமான இயக்கத்தில் சீராக வட்டப்பாதையில் செல்லும் எலெக்ட்ரானுக்கு மேற்கூறிய முடிவினைப் பயன்படுத்தியும் px என்னும் நேர்க்கோட்டு உந்தத்திற்கும் பதிலாக $p\phi$ என்னும் கோண வியல் உந்தத்தினையும் (angular momentum), நேர்க் கோட்டுக் கூறுதி $d\varphi$-க்குப் பதிலாக (element), கோணவகைக் கூறு (angular element) $d\varphi$ யையும் தக்கபடி இட்டு,

$$\oint p\varphi d\varphi = nh \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

என எழுதலாம். ஆனால் $p\varphi = Iw$. இங்கு I என்பது எலெக்ட்ரானின் நிலைமத் திருப்புத் திறனையும் (moment of inertia) w என்பது அதன் கோண வேகத்தையும் (angular velocity) குறிக்கின்றன. கோண வேகம் மாருமல் இருப்பதாகக் கொண்டுள்ளதால் $p\varphi$ என்பது மாருது.

$$\therefore \quad \oint p\varphi . d\varphi = p\varphi \oint d\varphi$$

$$= p\varphi \int_0^{2\pi} d\varphi$$

$$= p\varphi . 2\pi .$$

எனவே சமன்பாடு (3)-ல் இருந்து

$$p\varphi = \frac{nh}{2\pi} \text{ ஆகிறது.}$$

ஆகவே குவான்ட கொள்கையின்படி. வட்ட வீதியில் இயங்கும் ஒரு எலெக்ட்ரானின் கோணவியல் உந்தம் (angular momentarm) $\frac{h}{2\pi}$ என்பதின் முழு எண் மடங்குகளாகத்தான் இருக்கும். அல்லது மறுதலையாகக் கூறினால் எவ்விதிகளில்

கோணவியல் உந்தம் $\frac{h}{2\pi}$ என்பதன் முழு எண் மடங்குகளாக இருக்கின்றதோ அவ்விதிகளே அனுமதிக்கப்பட்ட விதிகள் எனப் படும்.

ஹைட்ரஜன் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் அனுமதிக்கப் பட்ட விதிக்குரிய ஆரம், அதிர்வு எண், மற்றும் ஆற்றல் இவற்றிற் கான சமன்பாடுகளைக் காணும் பொருட்டு M மற்றும் E என்பன அணுக்கருவின் நிறை மற்றும் மின்னூட்டம் என்னும், m, e, v என்பன முறையே எலெக்ட்ரானின் நிறை, மின்னூட்டம் மற்றும் அதன் நேர்க்கோட்டு வேகம் என்று கொள்வோம். அணுக் கருவை மையமாக உடைய 'a' என்னும் ஆரமுடைய வட்டப் பாதையில் எலெக்ட்ரான் செல்வதாகக் கொள்வோம்.

அணுக் கருவின் மின்னூட்டம் $E = Ze$ இதில் Z என்பது தனிமத்தின் அணு எண் ஆகும். ஹைட்ரஜனுக்கு $Z = 1$ ஆகவே $E = e$ ஆகிறது. அணுக் கருவின் நிறையாகிய M எலெக்ட்ரானின் நிறையாகிய m உடன் ஒப்பிட மிகப் பெரியது என்றும் ஆகவே அணுக்கரு அசையாது இருப்பதாகவும் கொள் வோம்.

எலெக்ட்ரானுக்கும் அணுக்கருவுக்கும் இடையே உள்ள நிலை மின் ஈர்ப்பு விசை (electro static of attraction) $\frac{Ee}{a^2}$ ஆகும். எலெக்ட் ரானின் மையம் விலக்குவிசையால் அணுக்கருவுக்கும் எலெக்ட் ரானுக்குமிடையே ஏற்படும் விலகவிசை $= \frac{mv^2}{a}$ ஆகும்.

$$\frac{Ee}{a^2} = \frac{mv^2}{a}$$

என்றால் இவ்வமைப்புச் சமநிலை உடையதாக இருக்கும்.

$$\therefore \quad v^2 = \frac{Ee}{am} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

விதிக்கான குவான்டக் கட்டுப்பாட்டினை (quantum condition) இணைக்க,

$$p\varphi = I\omega = n.\frac{h}{2\pi}$$

ஆனால் $I\omega = ma^2\omega = ma^2\left(\frac{v}{a}\right)$

$$= mav$$

$$\therefore \quad mav = \frac{nh}{2\pi}$$

$$\therefore \quad v = \frac{nh}{2\pi am} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

சமன்பாடு (1)ஐ (2) ஆல் வகுக்க

$$v = \frac{Ee}{am} \cdot \frac{2\pi am}{nh}$$

$$= \frac{2\pi Ee}{nh} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

மேலும் சமன்பாடு (2)-ல் இருந்து

$$a = \frac{nh}{2mv}$$

இதில் சமன்பாடு (3)-ன் படியுள்ள v-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய,

$$a = \frac{nh}{2\pi m} \cdot \frac{nh}{2\pi Ee} = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 m \cdot Ee} \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

ஆகவே அனுமதிக்கப்பட்ட விதியின் ஆரம் 'a' என்பது n^2-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பது தெரிகிறது. ஏனெனில் சமன்பாடு (4)-ல் உள்ள மற்ற அளவுகள் எல்லாம் மாறுதவை. இதிலிருந்து அனுமதிக்கப்பட்ட விதிகளின் ஆரங்கள் 1, 2, 3 ..... என்னும் முழு எண்களின் இருமடிக்கு (square) நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் என்று தெரிகிறது. இந்த முழு எண்களுக்கு அவ்வவ் விதிகளின் குவான்ட எண்கள் (quantum numbers) என்று பெயர்.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் மிகச் சிறிய முதல் விதியின் ஆரத்தை மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் h, $E=e$ மற்றும் m இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைப் பயன்படுத்தியும் $n = 1$ என்று இட்டும் எளிதில் கணக்கிடலாம். அந்த ஆரம் $0 \cdot 53 \times 10^{-8}$ செ.மீ-க்குச் சமமாக இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதற்குப் போர் ஆரம் (Bohr radius) என்று பெயர். எனவே முதல்விதியின் விட்டம் 10^{-8} செ.மீ. அளவினதாக இருக்கும். இம் மதிப்பு மற்றப் பல முறைகளில் கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்திருந்தது.

எலெக்ட்ரான்களின் வீதிசார் அதிர்வு எண் (Orbital frequency) :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{v}{2\pi a} = \frac{2\pi Ee}{nh} \cdot \frac{1}{2\pi a}$$

$$= \frac{Ee}{nha}$$

$$= \frac{Ee}{nh} \cdot \frac{4\pi^2 mEe}{n^2h^2}$$

$$= \frac{4\pi^2 mE^2e^2}{n^3h^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

முதுபழங் கொள்கையின்படி இவ் வீதிசார் அதிர்வு எண் இவ் வணுவினுல் உமிழப்படும் நிறமாலை வரியின் (spectral line) அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாகும். ஆனுல் போரின் கொள்கைப்படி அது தவறு என்பதை இங்குக் காண்போம்.

வீதி ஆற்றல் (Orbital energy) :

எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் முழு ஆற்றல் W என்பது நிலையாற்றல் மற்றும் இயக்க ஆற்றல் இவைகளின் கூட்டுத் தொகையே ஆகும்.

$$\text{இயக்க ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2}mv^2 = \frac{Ee}{2a}$$

இது சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து பெறப்பட்டுள்ளது.

$$\text{நிலை ஆற்றல்} = -\frac{Ee}{a}$$

$$\therefore \qquad W = \frac{Ee}{2a} - \frac{Ee}{a} = -\frac{Ee}{2a}$$

சமன்பாடு (4)-ல் இருந்து a-க்குப் பதிலீடு செய்ய,

$$W = W_n = -\frac{Ee}{2} \cdot \frac{4\pi^2 m.Ee}{n^2h^2}$$

$$= -\frac{2\pi^2 mE^2e^2}{n^2h^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இங்கு W_n என்பது எலெக்ட்ரான் n என்னும் வீதியில் இருக்கும்போது அதற்கு உள்ள ஆற்றல் ஆகும். அல்லது n என்னும் வீதிக்கு உரிய ஆற்றலாகும்.

இத் தொடர்பில் n என்பதைத் தவிர மற்றவை எல்லாம் மாருதவை ஆகையால் வீதி ஆற்றல் வீதியின் குவான்டம் எண்ணின் (quantum number) இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

குறிப்பிட்ட ஒரு வீதியின் ஆற்றல் மாருத அளவுடையதே. இதிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரான் ஒரே வீதியில் சுற்றிக் கொண்டிருக்கும் வரை அது கதிர்வீச்சாக ஆற்றலை வெளியிட முடியாது. இது முதுபழம் மின்காந்தக் கொள்கைக்கு முரண்பட்ட கூற்றுகும்.

வீதி ஆற்றலுக்குள்ள சமன்பாட்டில் (6-ல்) வரும் கழித்தல் குறிக்குக் கொடுக்கப்படும் விளக்கம் மிகவும் முக்கியமானது. n அதிகமாகும் போது ஆற்றலின் எண் மதிப்பு (numberical value) குறைந்து கொண்டே போகிறது. ஆனல் இச் சமன்பாட்டில் கழித்தல் குறி இருப்பதால் உண்மையில் ஆற்றல் அதிகரிக்கும். இதிலிருந்து வெளி வீதிகளின் ஆற்றல் உள் வீதிகளின் ஆற்றலை விட அதிகம் என்பது தெரிகிறது.

ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்துச் சமன்பாடு (6)-ஐ எடுத்துக் கொள்வோம். $E = e$ ஆகையால்,

$$Wn = -2m\left(\frac{\pi e^2}{h}\right)^2 \cdot \frac{1}{n^2}$$

முதல் வீதியின் ஆற்றல்,

$$W_1 = -\frac{2 \times 9 \times 10^{-28} \times \pi^2 (4{\cdot}77 \times 10^{-10})^4}{(6{\cdot}55 \times 10^{-27})^2 \times 1^2}$$

$$= -2{\cdot}155 \times 10^{-11} \text{ எர்க்குகள்}$$

இரண்டாம் வீதியின் ஆற்றல்,

$$W_2 = -\frac{2{\cdot}155 \times 10^{-11}}{2^2}$$

$$= -0{\cdot}585 \times 10^{-11} \text{ எர்க்குகள்}$$

மூன்ரும் வீதியின் ஆற்றல்,

$$W_3 = -\frac{2{\cdot}155 \times 10^{-11}}{3^2}$$

$$= -0{\cdot}238 \times 10^{-11} \text{ எர்க்குகள்}$$

இவ்வாறே மற்ற மற்ற வீதிகளுக்கும் கணக்கிடலாம். முதல் வீதி மிக மிகக் குறைந்த ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதால் அது மிகுந்த

சமநிலையில் உள்ள வீதியாகும். எழுச்சியற்ற (unexcited) நிலையில் உள்ள எலெக்ட்ரான் இவ் வீதியில்தான் இருக்கும். வீதி ஆற்றல்களை மிக எளிதான வோல்ட் அலகுகளில் கூறினால்,

$$Vn = -\frac{2m(\pi e^2)^2}{n^2h^2} \times \frac{300}{e} \text{ வோல்ட்டுகள்}$$

ஏனெனில் எர்க்குகளில் (ergs) கூறப்பட்ட ஆற்றல் $\frac{eV}{300}$ க்குச் சமம். இங்கு V என்பது வோல்ட்டுகளிலும் e என்பது நிலைமின் அலகுகளிலும் (நி. மி. அ.) உள்ளது. எனவே m, e மற்றும் a இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய,

$$Vn = -\frac{13 \cdot 6}{n^2} \text{ வோல்ட்டுகள் ஆகும்.}$$

இதில் உள்ள கழித்தற்குறி அணுவின் கட்டமைப்புப் பற்றிய மற்றொரு முக்கியமான கருத்தினைக் குறிப்பிடுகிறது. இது எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவுடன் ஈர்ப்பு விசையால் பிணைக்கப் பட்டுள்ளது என்பதையும் அதை அணுக்கருவிலிருந்து பிரிக்க வேண்டுமானால் ஆற்றலைக் கொடுத்துதான் பிரிக்கவேண்டும் என்பதையும் காட்டுகிறது. இந்த அடிப்படையில் **வீதி ஆற்றலுக்கு. பிணைப்பு ஆற்றல்** (brinding energy) அல்லது வேலை சார்பலன் (work function) என்னும் பெயர்களும் உண்டு. வீதி ஆற்றலை பிணைப்பு ஆற்றல் என்று கருதும் போது இதைக் கூட்டற் குறியால் குறிக்கலாம். ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்தவரை n என்னும் வீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பு ஆற்றல் $= \frac{13 \cdot 6}{n^2}$ வோல்ட்டுகளாகும். உள் வீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரானைப் பிரித்து எடுப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவு வெளி வீதிகளில் உள்ள எலெக்ட்ரானைப் பிரித்து எடுப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலின் அளவினைவிட அதிகம். 13·6 வோல்ட்டு மின்னழுத்தங் கொண்ட (அதாவது 13·6 எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுக்குச் சமமான) நிலைமின் புலத்தின் ஆளுகைக்கு உட்பட்ட எலெக்ட்ரான் எவ்வளவு ஆற்றலைப் பெற்றிருக்குமோ அதே அளவு ஆற்றலை ஹைட்ரஜன் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரானுக்குக் கொடுத்தால், அந்த எலெக்ட்ரான் வெளியே தள்ளப் படும். பின்னர் நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கரு மட்டுமே எஞ்சியிருக்கும். இந் நிலையில் அணு அயனியாக்கஞ் செய்யப் பட்டிருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது.

நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் (Origin of spectral lines)

நிறமாலை வரிகள் பற்றிய போர் கூறிய கருத்துகளின் சிறப்பை அறியும் பொருட்டு, தனிமங்களின் நிறமாலைகள் பற்றிய பண்டைய ஆராய்ச்சிகளையும், அவற்றின் முடிவுகளையும் பற்றி ஓரளவு கூறவேண்டியது இன்றியமையாதது ஆகிறது.

போரின் காலத்திற்கு முந்திய செய்முறை ஆராய்ச்சிகள்

(Experimental researches before the time of Bohr)

போர் தன்னுடைய கொள்கையைக் கூறுவதற்கு வெகு காலத்திற்கு முன்னமேயே நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் பற்றி அறியும் நோக்கில் நிறமாலை வரிகளின் அலை நீளத்தைத் துல்லியமாக அளவிட ஃபேப்ரி—பெர்ரே (Fabry—Perot) குறுக்கீடு அளவு, லும்மர் கெர்க்கே தட்டு (Lummer Ghercke plate) போன்ற மற்ற மற்றச் செம்மையான கருவிகளைப் பயன்படுத்தி, தனிமங்களால் உமிழப்படும் நிறமாலை வரிகளைப் பற்றிய விரிவான ஆராய்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன. அநேகமாக அணு நிறமாலைகள் எல்லாமே சிக்கல் நிறைந்தவைகள்தான். முதற் பார்வைக்கு அவை அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாக ஒழுங்கற்ற முறையில் இருப்பதாகத் தோன்றும். ஆனால் (i) வரி துல்லியமாக இருக்கிறதா இல்லை கலங்கலாக இருக்கிறதா. (ii) தனிமத்தில் ஏற்படும் பௌதிக மாற்றங்கள் சில வரிகளில் ஒரே வகையான மாறுதல்களை உண்டாக்குவது. எடுத்துக்காட்டாக நிறமாலையைத் தரும் ஒரு வாயுவை இறுக்கினால் (compressed) நிறமாலையில் உள்ள ஒரு வரி அகலமானால் அத் தொகுதியில் உள்ள மற்றத் துணை வரிகளும் அகலமாகும். (iii) நிறமாலை தரும் பொருளைக் காந்தப் புலத்தின் ஆளுகைக்குட்படுத்தும் போது வரிகளின் நிலை போன்றவைகளைக் கொண்டு ஒரு தனிமத்தின் நிறமாலை வரிகளைப் பல தொடர்களாகத் (series) தொகுக்கலாம் எனத் தெரிகிறது. ஒரு தனிமத்தின் இத்தகைய தொடர்களில் (series) முதன்மைத் தொடர் (principal series), துல்லியத் தொடர் (sharp series), கலங்கியத் தொடர் (diffuse) மற்றும் அடிப்படைத் தொடர் (fundamental) என்னும் நான்கும் முக்கியமானவை. பல தனிமங்களின் நிறமாலைகளில் இந்த நான்கு தொடர்களிடையே காணப்பட்ட ஒற்றுமைகள் இத் தொடர்களுக்குப் பொதுவாய் சில உள்ளார்ந்த காரணங்கள் இருப்பதைக் குறிப்பிட்டதுடன் தற்சிறப்பு வரி நிறமாலையின் (Characteristic line spectra) தோற்றத்திற்குக் காரணமான இயக்க ஏற்பாடு எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் பொதுவாக

உள்ளன என்பதையும் காட்டின. பௌதிக ஒற்றுமைகள் இவ் வாறு இருப்பது காணப்பட்டவுடன் பாமர் (Balmer) ரிட்பர்க் (Rydberg), ரிட்ஸ் (Ritz) போன்றவர்களும் மற்றவர்களும் ஒரு குறிப்பிட்ட தொடரில் உள்ள வரிகளிடையேயும், ஒரு தனிமத்தின் பல தொடர்களுக்கிடையேயும் வெவ்வேறு தனிமங் களின் தொடர்களுக்கிடையேயும் எண் சார்ந்த தொடர்பினைக் (numerical relation) காண்பதில் ஈடுபட்டனர்.

பாமரின் செயலறி தொடர்பு (Empirical relation) :

1885-ல் பாமர் (Balmer) என்பார் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் சோதனைகள் செய்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொடரில் உள்ள வரிகளின் அலை நீளங்களுக்கான எளிய தொடர்பினைப் பெறுவதில் வெற்றி பெற்றார். அத் தொடர் இப்போது பாமர் தொடர் (Balmer's series) எனப்படுகிறது. இதை.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

என்னும் வாய்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் $\bar{\nu}$ என்பது அலை எண் (wave number) அதாவது செ.மீ. கூறப்பட்டுள்ள அலை நீளம் λ-ன் தலைப்பு மாற்றுப் பின்னம் (reciprocal) ஆகும். இதன் அளவைக் கொண்டுதான் ஒரு நிறமாலை வரிக்குப் பெயரிடுவது வழக்கம். R என்பது ஒரு மாறிலி, மற்றும் $n = 3,4,5,6......$ மேற் கூறிய வாய்பாட்டில் n-க்கு 3,4,5 ... என்று அடுத்தடுத்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து பாமரின் தொடரின் காணும் பகுதியில் (visible region) அமைந்த முதல் நான்கு வரிகளின் அதாவது H_α, H_β, H_γ மற்றும் H_δ வரிகளின் அலை எண்கள் (wave numbers) பெறப் படுகின்றன. பாமர் தொடரில் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ள 30 வரிகள் இருக்கின்றன. அவை கண்ணுக்குப் புலனாகாத புற ஊதாப் பகுதியிலும் தொடர்ந்து சென்று இறுதியாக எல்லாம் ஒன்றாய்க் கலக்கும் வரை மேலே போகப்போக நெருக்கமடைந்தும் மங்கலாகவும் காணப்படுகின்றன.

ரிட்பர்க்கின் வாய்பாடு (Rydbergs formula) :

விரிவான ஆராய்ச்சிகளின் பலனாக 1889-ல் ரிட்பர்க் என்பார் அணு நிறமாலைத் (atomic spectra) தொடர்களை யெல்லாம்.

$$\bar{\nu} = \nu_\infty - \frac{R}{(n+\mu)^2}$$

என்னும் அமைப்பு உடைய பொதுத் தொடர்புப்படி அமைக்கலாம் என நிலைநாட்டினர். இங்கு R என்பது எல்லாத் தொடர்களுக்கும்

பொதுவான மாறிலி (universal constant) ஆகும். இதற்கு இப்போது ரிட்பர்க் மாறிலி (Rydberg's constant) என்று பெயர். n என்பது ஒரு முழு எண். μ என்பது ஒன்றைவிடச் சிறிய பின்னம். இப் பின்னம் ஒரு தொடரின் எல்லா வரிகளுக்கும் அநேக மாக மாருத ஒன்றே ஆகும் v_{∞} என்பது $n = \infty$ என்பதற்குரிய குறுகு அலை எண் (convergent wave number) அல்லது எல்லை அலை யெண் (bimiting wave number) எனப்படும் பாமரின் தொடர்பு மேற்கூறிய பொதுத்தொடர்பின் ஒரு தனிவகையைச் சேர்ந்தது தான் என்பதை விளக்கி R-ன் மதிப்பு 109720 செ.மீ$^{-1}$ என மதிப்பீடு செய்தார். எந்த ஒரு நிறமாலை வரியின் அலை எண்ணை யும் இரு கூறுகளின் வித்தியாசமாகக் கூறமுடியும் என்பது ரிட்பர்க் கின் வாய்பாட்டில் உள்ள ஒரு பெருஞ் சிறப்பாகும். அவ்விரு கூறுகளில் ஒன்று v_{∞} என்பதால் குறிப்பிடப்பட்டுள்ள நிலையான கூறு மற்றது மாறும் இயல்புடையது. n-க்குப் பல்வேறுபட்ட முழு எண் மதிப்புகளைக் கொடுத்து இக் கூறினைப் பெறலாம். எனவே, ரிட்பர்க்கின் வாய்பாட்டினை இன்னும் எளிய அமைப்பில்,

$$v = R\left(\frac{1}{m^2} = \frac{1}{n^2}\right)$$ என எழுதலாம்

இதில் m என்பது நிலையானது மற்றும் n என்பது மாறும் இயல்பு உடையது.

ரிட்ஸின் இணைப்புக் கோட்பாடு (Ritz combination priciple) :

முக்கியமான நான்கு தொடர்களைத் தருகின்ற கூறுகளின் இணைப்புகளைத் (combination terms) தவிர மற்ற இணைப்புகள் நிறமாலையில் காணப்படுன்ற ஆனுல் மேலே குறிப்பிட்ட இத் தொடர்களைச் சேராத நிறமாலை வரிகளைக் குறிப்பனவாக இருக்கக் கூடுமென்று ரிட்பர்க்கிற்குத் தோன்றியது. 1908-ல் ரிட்பர்க்கின் மேற்கூறிய கருத்தினை ரிட்ஸ் (Ritz) ஒரு கோட்பாடாகப் பொது நிலைப்படுத்திஞர். இக் கோட்பாடு நிறமாலை வரிகளை வகைப் படுத்துவதில் குறிப்பிடத்தக்க விளைவுகளை உண்டாக்கியது. அக் கோட்பாட்டினைப் பின்வருமாறு கூறலாம். ரிட்பர்க் அல்லது பாமர் வாய்பாட்டில் வருகின்றன கூறுகளை (terms) இணைப்பதன் மூலம் புது வரிகளை (new lines) என் புது தொடர்களையும் கூட குறிப்பிடக் கூடிய தொடர்புகளைப் (relation) பெறலாம். எடுத்துக்காட்டாக ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் பாமரின் தொடர்களைத் தவிர்த்து வேறு தொடர்கள் பாசன் (pachan) மற்றும் ப்ராக்கெட் (Brackett) ஆகியோர் அத் தொடர்களை உண்மையில் கண்டுபிடிப்பதகுற்

முன்னமேயே கணக்கிட்டுக் கூறப்பட்டுவிட்டன. பாமர் தொடரின் H_α மற்றும் H_β ஆகிய இரு வரிகளையும் எடுத்துக்கொண்டு அவைகளை.

$$\bar{\nu}_\alpha = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) \text{ மற்றும் } \bar{\nu}_\beta = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

என்பவைகளால் குறிப்பிடலாம். இவை இரண்டையும் இணைத்து,

$$\bar{\nu}_\beta - \bar{\nu}_\alpha = R\left[\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) - \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)\right]$$

$$= R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

இது ஒரு புதிய வரியினைக் குறிப்பிடுகிறது. உண்மையில் இது பாசன் (Paschen) கண்டுபிடித்த (புறச் சிவப்புப் பகுதியில் உள்ள) புதிய தொடர் ஒன்றின் முதல் வரியாகும். இதுபோலவே அத் தொடரில் உள்ள இரண்டாவது வரியினை H_γ மற்றும் H_α வின் வித்தியாசத்தைக் கண்டுபிடித்துப் பெறலாம். இது போலவே மற்ற மற்ற வரிகளையும் பெறலாம். ப்ராக்கெட் கண்டுபிடித்த மற்றொரு தொடரினையும் இதே முறையில் இணைப்புக் கோட்பாட்டினைப் (combination principle) பயன்படுத்தி அடையாலம்.

இக் கோட்பாடு நிறமாலை இயல் துறையின் பகுதி மற்றும் எக்ஸ்-கதிர் பகுதியிலும், நிறமாலை இயல் அளவுகளுக்கு (spectroscopic measurements) தற்சிறப்புப் பண்புத் தருகின்ற அளவுக்குத் திட்பங் கொண்ட பௌதிக விதியாக விளங்குகிறது. குவான்ட கொள்கையின் அடிப்படையில் அணு நிறமாலைக்குப் பொருள் பொதிந்த விளக்கந் தருவதற்கான குறிப்பினையும் இது போருக்கு (Bohr) அளித்தது. ஏனெனில் செய்முறையில் கண்ட பண்புகள் கொண்ட நிறமாலையைக் கொடுக்கும் ஒரு இயக்க அமைப்பினைக் கற்பனை செய்வது தொன்முறைக் கருத்துப்படிக் கடினமான ஒன்றாகும். ஒரு தொடரின் உறுப்புகள், மேற் சுரங்களின் (overtones) தன்மையைக் கொண்டிருக்கும் என எண்ணுவது இயற்கையே. ஒலியியலில் (acoustrics) அதிர்வுகளில் மேற் சுரங்களின் எண்கள் அடிப்படை அதிர்வு எண்ணின் முழு மடங்குகளாக இல்லாமல் இருக்கின்ற நேரங்கள் பல உண்டு. ஆனால் அதிர்வுகளில் ஒரு உயர் வரம்பை (upper limit) எட்டுகின்ற ஒரு அதிர்வுகூட காணப்படவில்லை. அதிர்வுபற்றிய முதுபழங் கொள்கைகளில் ரிட்ஸின் இணைப்புக் கோட்பாட்டிற்கு ஒப்புமை கூறக்கூடிய எதுவும் இல்லை. வெப்பக் கதிர்வீச்சுக்கு விளக்கந் தருவதில்

முதுபழங் கொள்கை தோல்வியுற்று குவான்டக் கொள்கை வெற்றி பெற்றது போலவே அணு நிறமாலை விஷயத்திலும்—போர் மெய்ப் பித்து காட்டியது போல—ஆயிற்று.

நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் பற்றிய போரின் கொள்கை

(Bohr's theory of the origin of spectral lines)

போர் கூறிய முதல் எடுகோளுக் கேற்ப ஆற்றல் வீதிகள் ஏதாவது ஒன்றில் சுற்றிக் கொண்டிருக்கும் எலெக்ட்ரான் ஆற்றலை வெளியிட இயலாது. ஆகையால் போரின் அணுவால் எப்போதாவது ஆற்றலை வெளியிட இயலுமா என்ற கேள்வி இயல்பாகவே எழுந்தது. அணுக்கள் கதிர்வீச்சுகளை வெளியிடு கின்றன என்பது செய் முறையில் கண்ட உண்மையாகும். போர் தன்னுடைய இரண்டாவது எடு கோளின் உதவி கொண்டு திறமையாக இச் சிக்கலுக்குத் தீர்வு கண்டார். உள் வீதிகளைவிட வெளிவீதிகள் ஆற்றல் அதிகமுடையன என்பதை முன்னமேயே கண்டோம். ஏதோ ஒரு காரணத்தால் வெளிவீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரான் உள் வீதிக்குத் தாவுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இப்போது இவ் விரு வீதிகளுக்குமிடையே உள்ள ஆற்றல் வேறு பாட்டிற்குச் சமமான ஆற்றல் அதிகப்படியாக இருத்தல் வேண்டும். ஆற்றல் அழியா விதிக்கு ஏற்ப இந்த அதிகப்படியான ஆற்றல் கதிர்வீச்சாக வெளியிடப்படுகிறதென நியாயமாகக் கருத லாம். எவ்வாறு வெளியிடப்படுகிறது என்னும் வினவுக்கு விடை யளிக்க இயலாது. இக் கருத்தினை மூலக் கோளாகக் (axiom) கொள்ளுதல் வேண்டும்.

இரண்டாவது எடு கோளின் குவான்ட நிலையைக் (quantum condtion) கொண்டு வெளியிடப்பட்ட அதிகப்படியான ஆற்றல் $h\nu$ என்னும் குவான்ட அளவாக இருத்தல் வேண்டும் என்னலாம். எனவே வெளியிடப்பட்ட நிறமாலை வரியின் அதிர்வு எண் ν ஆகும்.

எலெக்ட்ரான் தாவுகிற உள் மற்றும் வெளி வீதிகளாகிய n_1 மற்றும் n_2 என்னும் குவான்ட எண்களைக் (quantum numbers) கொண்ட வீதிகளின் ஆற்றல் அளவு W_1 மற்றும் W_2 எனக் கொண்டால்.

$$h\nu = Wn_2 - Wn_1$$

$$\nu = \left(\frac{Wn_2 - Wn_1}{h}\right)$$

இதற்குப் போரின் அதிர்வுவெண் கட்டுப்பாடு (Bohr's frequency condition) என்று பெயர். நிறமாலை பற்றிய கொள்கை வழி விளக்கம் தருவதில் பயன்படும் கோட்பாடுகளில் இது முக்கிய மான ஒன்ருகும். இங்கு இக் கோட்பாடு ஒரு நிறமாலைத் தொடருக்கான வாய்பாட்டினைத் தருகிறது.

Wn_1 மற்றும் Wn_2 என்பவற்றிற்கான மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்ய,

$$Wn_1 = -\frac{2\pi m E^2 e^2}{n_1{}^2 h^2}$$

$$Wn_2 = -\frac{2\pi m E^2 e^2}{n_2{}^2 h^2}$$

$$h\nu = Wn_2 - Wn_1 = \frac{2\pi m E^2 e^2}{h^2}\left(\frac{1}{n_1{}^2} - \frac{1}{n_2{}^2}\right)$$

$$\nu = \frac{2\pi m E^2 e^2}{h^3}\left(\frac{1}{n_1{}^2} - \frac{1}{n_2{}^2}\right)$$

நிறமாலை வரியின் அதிர்வெண்ணுகிய ν வீதிவழி அதிர்வெண்ணுகிய (orbital frequency)

$$f = \frac{4\pi^2 m. E^2 e^2}{n^3 h^3}$$

என்பதற்குச் சமமாக இல்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இது முதுபழங் கொள்கையின் கருத்துக்கு முரண்பட்ட கருத்தாகும்.

$\bar{\nu}$ என்னும் அலை எண் (wave number) அளவுகளில் நிறமாலை வரியினைப் பின்வருமாறு தரலாம்.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{2\pi^2 m. E^2 e^2}{ch^3}\left(\frac{1}{n_1{}^2} - \frac{1}{n_2{}^2}\right)$$

இத்தொடர் நிறமாலைக் கோளின் பிறப்பிடம் பற்றிய மிக எளிய விளக்கம் தருகிறது. n^2 என்னும் குவான்ட எண் (quantum number) கொண்ட வீதியில் ஆரம்பத்தில் சுற்றிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு எலெக்ட்ரான் n_1 என்னும் வரையறை எண் கொண்ட வீதிக்கு இறங்கி வந்து சுழன்ருல் ஒரு நிறமாலை வரி தோன்றுகிறது. அதன் அலையெண் மேற்கூறிய தொடர்பினுல் குறிக்கப்படுகிறது. ஒரு தொடரில் உள்ள பல வரிகள் வெவ்வேறு வெளி வீதிகளிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட உள் வீதிக்கு எலெக்ட்

ரான்கள் இறங்கி வருவதால் ஏற்படுபவை ஆகும். பல உள் வீதிகளுக்கு அவற்றிற்கு வெளியிலுள்ள வீதிகளுக்கு உண்டாகும் தாவுதல்களினால் பல்வேறு தொடர்கள் உண்டாகின்றன.

இத் தொடர்பு போர் கூறிய கொள்கையின் சிறப்பினைச் சோதித்தறியும் ஒரு வழியாக அமைகிறது. முதலாவதாக $\frac{2\pi^2 m E^2 e^2}{ch^3}$ என்னும் மாறிலி மற்றும் $\frac{1}{n_1^2}$, $\frac{1}{n_2^2}$ ஆகிய இரு உறுப்புகளுக்குமிடையே உள்ள வேறுபாடு ஆகியவைகளைக் கொண்ட போரின் வாய்பாடு (formulae) பாமர், மற்றும் ரிட்பர்க் ஆகியோரின் செயலறி வாய்பாடுகளைப் (empirical formulae) போன்ற அமைப்பையே கொண்டிருக்கிறது. இரண்டாவதாகப் போரின் தொடர்பினை, பாமரின் வாய்பாட்டுடன் ஒப்பிட $\frac{2\pi^2 m E^2 e^2}{ch^3}$ என்பது ரிட்பர்க் மாறிலியாகிய Rஐ ஒத்ததாக இருக்கிறது. ஹைட்ரஜன் நிறமாலைக்குப் பாமர் பெற்ற நிறமாலைக் குறிப்புகளிலிருந்து பெற்ற R-ன் மதிப்பு 109677·7 செ.மீ.$^{-1}$ ஆகும். π, e, m, c மற்றும் h இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைப் போரின் தொடர்பில் உள்ள $\frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}$ என்பதில் (ஹைட்ரஜனுக்கு $E=e$) பதிலீடு செய்ய அதன் மதிப்பு 109740 செ.மீ.$^{-1}$ ஆகும். இவ்விரு மாறிலிகளின் மதிப்பும் மிகவும் ஒத்திருப்பது போரின் கொள்கையின் பழுதுபடாத்தன்மைக்குச் சான்றாக அமைகிறது.

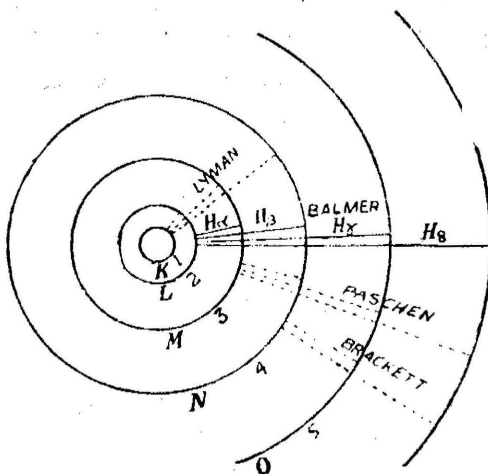
போர் கூறிய தொடர்பு (relation) ஹைட்ஜரன் நிறமாலையில் உண்மையில் கண்ட பல்வேறு தொடர்களை (series) முன்கூட்டியே கூறியிருக்கிறது. இவ்வுண்மை அணுவின் கட்டமைப்புப் பற்றிய போரின் கொள்கைச் சிறப்புக்கு மற்றுமொரு சான்றாக அமைகிறது. ஒவ்வொரு தொடரிலும் உள்ள எந்த ஒரு வரிக்கும் (line) அலையெண் மதிப்பினைக்கூட இத்தொடர்பு தருகிறது. $n_1 = 2$ என்றும் $n_2 = 3, 4, 5$ ....என்றும் பதிலீடு செய்து பாமர் தொடரின் வரிகள் பெறப்படுகின்றன. நாம் $n_1 = 3$ என்றும் $n_2 = 4, 5, 6$.........என்றும் இட்டால் 1909ஆம் ஆண்டில் பாசன் (Pachen) என்பாரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட, அகச் சிவப்புப் பகுதியில் உள்ள பாசன் தொடரின் (Pachen Series) வரிகளைப் பெறலாம். $n = 1$ மற்றும் $n_2 = 2, 3, 4, 5$ ..... என்று இட்டால் 1914ஆம் ஆண்டில் முதன் முதலாக லைமன் (Lyman) என்பாரால் காணப்பட்ட, புற ஊதாப் பகுதியில் உள்ள லைமன் தொடரினை (Lyman series) அடையலாம். 1922ஆம் ஆண்டில் $n_1 = 4$, $n_2 = 5, 6, 7$........என்பதற்கிசைய பிராக்கெட் (Brackett) என்பார் மற்றுமொரு தொடரினைக் கண்டு பிடித்தார்.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் தொடர் நிறமாலையைப் பட உருவில் குறிப்பிடல்

(Diagrammatic representation of the series spectrum of the hydrogen atom)

(i) **வீதிப் படம் :**

இது (படம் 155) போரின் அனுமதிக்கப்பட்ட விதிகளையும் (Permitted orbits) மற்றும் வெளி வீதிகளிலிருந்து உள் வீதிகளுக்கு எலெக்ட்ரான்கள் தாவுவதையும், படத்தில் காட்டியுள்ளது போல பல்வேறு தொடர்களை உண்டாக்குவதையும் சித்தரிக்கிறது.



படம் 155.

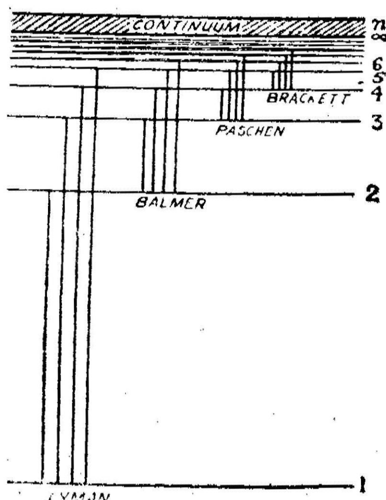
ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் வீதிப் படம்

$n_1 = 1, 2, 3 \ldots$ என்பதற்கிசையுமாறு உள்ள வீதிகள் K, L, M... கூடுகள் எனப்படுவன ஆகும். இது எக்ஸ்–கதிர் நிறமாலையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள பெயராகும். நிறமாலை வரிகளின் பிறப் பிடத்தைக் குறிப்பதற்காக உள்ள இவ்வமைப்பு அணுவின் உள் ளமைப்பைக் குறிப்பதாகாது. எடுத்துக்காட்டாகக் காந்தப் புலத்தின் உண்மையான அமைப்புக்கும் அதில் வரைப்யப்படும் விசைக் கோடுகளின் (lines of force) அமைப்புக்கும் என்ன வேறு பாடு உள்ளதோ அதே போன்ற வேறுபாடு அணுவின் உண்மை யான கட்டமைப்புக்கும், அணுவைச் சுற்றி அனுமதிக்கப்பட்ட பல வீதிகளில் எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருவதாய் அமைந்த படக் குறிப்பிற்கும் உண்டு. ஒரு காந்தப்புலத்தில் அத்தகைய கோடுகள்

உண்மையில் இல்லையென்றாலும் அவை குறிப்பிடும் காந்தப்புலத்திற்கு ஆற்றல் உண்டு என்பது உண்மையே ஆகும். அதே போன்று வீதிகள் என்னுங்கருத்து உண்மையில் இல்லாமலிருக்கலாம். ஆனால் இவ் வீதிகளுடன் தொடர்புடைய ஆற்றல் உண்மையானது என்பதை நாம் உறுதியாக இருக்கிறோம்.

(ii) **ஆற்றல் மட்டப் படம்** (Energy level diagram) :

மேற்கூறிய வீதிப் படத்தைவிட, ஆற்றல் மட்டப் படம் என்னும் இக் கருத்து முக்கியத்துவம் கொண்டதாகும். இதில் அணுவின் தனித்தனியான பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகள் (energy states) படுக்கைக் கோடுகளாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு நிறமாலை வரியினை வெளியிட்டப் பின்னர் அணு ஒரு ஆற்றல் நிலையிலிருந்து மற்றொரு ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் செல்வதை அவ்விரு ஆற்றல் நிலைகளையும் சேர்க்கும் ஒரு குத்துக் கோட்டால் குறிப்பிடுகிறார்கள் (படம் 156). அணுவின் எழுச்சி பெறாத



படம் 156.

ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் ஆற்றல் மட்டப் படம்

(unexcited) நிலையினை மிகக் குறைந்த ஆற்றல் மட்டம் ($n = 1$) என்பது குறிக்கிறது. இதற்கு மேலுள்ள மட்டங்களிலிருந்து இம் மட்டத்திற்கு எலெக்ட்ரான் இடம் பெயர்வதால் (transition) லைமன் தொடர் கிடைக்கிறது. மற்றத் தொடர்களும் இவ்வாறே படத்தில் குறிப்பிடப்படுகின்றன. மேற்கூறிய கீழ்மட்டத்திற்கு

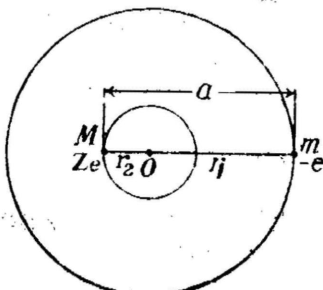
அடுத்ததாக உள்ள ($n = 2$) மட்டத்திற்கும் அதற்கும் மேலே உள்ள மடங்குகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் இடம் பெயர்வதால் பாமர் தொடர் உண்டாகிறது. மூன்ருவது ($n = 3$) மட்டத்திற்கு மேலே உள்ள மட்டங்களிலிருந்து மூன்ருவது மட்டத்திற்கு எலெக்ட்ரான்கள் இடம் பெயர்வதால் பாசன் தொடரும் நான்காவது மட்டத்திற்கு மேலுள்ள மட்டங்களிலிருந்து நான்காவது மட்டத்திற்கு ($n = 4$) ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சிகளினுல் ப்ராக்கெட் தொடரும் ஏற்படுகின்றன, n பெரிதாக ஆக ஆக ஆற்றல் மட்டங்கள் நெருக்கமடைகின்றன. ஒவ்வொரு தொடரும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டத்தில் முடிவடைகின்றன என்பதைப் படம் காட்டுகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் மோதலுக்கு உட்பட்ட ஹைட்ரஜன் கொண்ட மின்னிழப்புக் குழலில் கிளர்ச்யூட்டும் செயல் எவ்வாறு நடைபெறுகிறது என்பதை இப் படம் அழகாக விளக்குகிறது. சில ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகள் பிரிந்து அணுக்கள் ஆகின்றன. இவ்வணுக்கள் மோதலினுலோ அல்லது வேறு காரணங்களினுலோ கிளர்ச்சியூட்டப்படுகின்றன. அதாவது எலெக்ட்ரான்கள் அவைகளின் இயல்பான ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து அதிக ஆற்றல் கொண்ட மட்டங்களுக்குக் கொண்டு போகப்படுகின்றன. சிறிது நேரங்கழித்து அவ்வெலக்ட்ரான் குறைந்த ஆற்றல் மட்டத்திற்கு வருகிறது. அப்போது இடப் பெயர்ச்சியின் தற்சிறப்புக்கு உரிய அதிர்வு எண் கொண்ட நிறமாலை ஒன்றை உண்டாக்குகிறது. இந்த அதிர்வு எண் போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டால் (Bohr's frequency condition) தரப்படுகிறது.

$$\nu = \frac{Wn_2 - Wn_1}{h} = \frac{\Delta W}{h}$$

ஒற்றை அணு ஒன்று ஒரு குறுப்பிட்ட கணத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடப்பெயர்ச்சியினுல் ஏற்படும் ஒரே ஒரு நிறமாலை வரியினைத்தான் வெளியிட இயலும். ஆய்வுச்சாலையில் நாம் நிறமாலை உண்டாக்கும்போது அதில் பல அணுக்கள் பங்கு கொள்கின்றன. ஒரு அணுவில் ஒரு வகையான இடப்பெயர்ச்சியும் அதே சமயத்தில் மற்ற அணுக்களில் வெவ்வேறு வகையான இடப்பெயர்ச்சிகளும் ஏற்படுவதால் பல தொடர்களையும் சேர்ந்த வரிகள் தோன்றுகின்றன. ஒரே சமயத்தில் பல அணுக்கள் பங்கு கொள்வதால் ஒரு குறுப்பிட்ட வகையான இடப்பெயர்ச்சி ஒவ்வொரு கணத்திலும் ஏதாவது ஒரு அணுவில் நிகழ்ந்து கொண்டே இருக்கும். ஆகவே பார்ப்பவருக்கு வரிகள் தொடர்ந்தும் ஒரே ஒப்புச் செறுவு கொண்டதாகவும் காணப்படுகின்றன.

அணுக்கருவின் வரம்புள்ள நிறை கருதி செய்த திருத்தம் :

மேற் கூறிய எளிய கொள்கையில் அணுக்கருவின் பொருண்மையாகிய M எலெக்ட்ரானின் பொருண்மையாகிய m என்பதுடன் ஒப்பிட, மிகப் பெரியது என்றும் வட்ட விதிகளின் மையத்தில் அணுக்கரு அசையாமல் இருக்கிறது என்றும் கொண்டோம். அணுக்கருவின் எடை அளவில்லாததாக இருந்தால் மட்டுமே இதனை முற்றிலும் சரி என்று கூறலாம். உண்மையில் அணுக்கருவின் பொருண்மை வரம்பற்றது அன்று. எடுத்துக்காட்டாக ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் பொருண்மை எலெக்ட்ரானின் பொருண்மையைப்போல் 2000 மடங்குதான் இருக்கிறது. அணுக் கருவுக்கு வரம்புள்ள (finite) பொருண்மையே இருப்பதால் அதுவும் சுழல்கிறது. ஆனால் மற்றும் அணுக்கரு இவை இரண்டும், அவைகளின் பொதுவான புவி ஈர்ப்புப் புள்ளி (common centre of gravity) ஆகிய O-வை மையமாக வைத்துச் சுழல்கின்றன. (படம் 157)



படம் 157.

எலெக்ட்ரான் r_1 என்னும் ஆரமுடைய பெரிய வட்டத்திலும் அணுக்கரு r_2 என்னும் ஆரமுடைய சிறிய வட்டத்திலும் சுழல்கின்றன. புவிஈர்ப்புப் பற்றிய ஒரு சிறிய தேற்றத்திலிருந்து (theorem on C. G) $Mr_2 = mr_1$ என்பதைப் பெறுகிறோம். முன் போலவே a என்பது எலெக்ட்ரானுக்கும் அணுக்கருவுக்கும் உள்ள தூரம் என்று கொண்டால்,

$$r_1 = a - r_2 = a - \frac{mr_1}{M}$$

$$a = r_1 + \frac{mr_1}{M} = r_1\left(1 + \frac{m}{M}\right)$$

$$\therefore \quad r_1 = \frac{aM}{(M+m)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

மற்றும் $r_2 = \frac{mr_1}{M} = \frac{am}{(M+m)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

இவ்விரு பொருண்மைகளும் வட்ட வீதிகளில் சுழல்வதால் நிலைத் தன்மைக்கான இரு நிலைகளைக் காட்டுகின்ற இரு சமன்பாடுகளை நாம் பெறுகிறோம்.

$$\frac{Ee}{a^2} = \frac{mv^2}{r_1} \text{ (எலெக்ட்ரானுக்கு)}$$

$$\frac{Ee}{a^2} = \frac{MV^2}{r^3} \text{ (அணுக்கருவுக்கு)}$$

இங்கு எலெக்ட்ரானின் வேகமாகிய $v = r_1\omega$ மற்றும் அணுக்கருவின் வேகமாகிய $V = r_2\omega$ ஆகும். ω என்பது O–வை மையமாகக் கொண்ட இவ்வமைப்பின் பொதுவான கோண வேகமாகும். கூடுதல் இயக்க ஆற்றல் இரண்டு பகுதிகளைக் கொண்டது. ஒன்று எலெக்ட்ரானுடையது மற்றது அணுக்கருவினுடையது.

∴ கூடுதல் இயக்க ஆற்றல்

$$= \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{2}MV^2$$

$$= \tfrac{1}{2}m\omega^2 r_1{}^2 + \tfrac{1}{2}M\omega^2 r_2{}^2$$

சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) இவைகளிலிருந்து r_1 மற்றும் r_2 இவைகளின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து சுருக்க

$$\text{கூடுதல் இயக்க ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2}\left(\frac{mM}{M+m}\right)\omega^2 a^2$$

$$= \tfrac{1}{2}\,\mu\,\omega^2 a^2$$

$$\text{இங்கு } \mu = \frac{mM}{M+m} = \left(\frac{m}{1+\frac{M}{m}}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

இது வழக்கில் சுருக்கப்பட்ட நிறை (reduced mass)

அணுக்கருவின் இயக்கத்தைக் கணக்கில் சேர்த்துக் கொண்டுள்ள இம்முறையில் உள்ள அணுவின் இயக்க ஆற்றல், அணுக்கரு அசைவில்லாது இருப்பதாகக் கொண்டு கணக்கிடப்பட்ட இயக்க ஆற்றலின் அளவினின்றும் மாறுபடுகிறது. இதில் எலெக்ட்ரானின் பொருண்மை m-க்குப் பதிலாக μ என்னும் சுருக்கப்பட்ட நிறை (reduced mass) இடம்பெறுகிறது.

தொடர்ந்து இதுபற்றிய கணக்குப் பூராவையும் போட்டுக் கொண்டே செல்லாமல், அணு நிறமாலைகளின் அலை எண்ணுக்கான (wave number) இறுதிச் சமன்பாட்டினைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம். இங்கு அணுக்கருவின் பொருண்மை வரையில்லாதது என்று கொள்ளப்படவில்லை.

$$\bar{v} = \frac{2\pi^2 m E^2 e^2}{ch^3} \cdot \frac{M}{M+m} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

அடைப்புக் குறிக்கும் உள்ளே உள்ள அளவினைப் பெருக்கும் கூறு (இது ரிட்பர்க் மாறிலியாகும்) எலெக்ட்ரானின் பொருண்மைக்கும் அணுக்கருவின் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது என்பதைக் காண்கிறோம். ஏனெனில் m என்பதற்குப் பதிலாக,

$$\frac{mM}{M+m} = \left(\frac{m}{1 + \frac{m}{M}}\right)$$

என்பது இடம் பெறுகிறது. M என்பது மிகமிகப் பெரிதாக இருந்தால்,

$$\left(\frac{m}{1 + \frac{m}{M}}\right)$$

என்பது m என்றாகும். உண்மையில் $\frac{m}{M}$ என்னும் விகிதம் எல்லா அணுக்களுக்கும் சமமாக இருப்பதில்லை. எனவே ரிட்பர்க் மாறிலி (Rydberg constant) தனிமத்திற்குத் தனிமம் மாறுபடுகிறது. திருத்தம் தருகின்ற கூறாகிய,

$$\left(\frac{1}{1 + \frac{m}{M}}\right)$$

என்பது மிகச் சிறியது. ஆதலால் இவ்வேறுபாடு மிகச் சிறியதாகவே இருக்கும். $E = Ze$ என்னும் தொடர்பின் மூலம் சமன்பாடு (4)ல் அணு எண்ணாகிய Z என்பதையும் புகுத்தி,

$$\bar{v} = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \cdot Z^2 \cdot \frac{M}{M+m} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \dots (5)$$

என எழுதலாம்.

எந்த ஒரு தனிமத்திற்கும் ரிட்பர்க் மாறியாகிய

$$Rz = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \cdot \frac{Mz}{Mz + m}$$ ஆகும்.

$$= R\infty \left(\frac{1}{1 + \frac{m}{Mz}} \right) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

இங்கு $R\infty = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}$ ஆகும்.

Mz என்பது Z என்னும் அணு எண் கொண்ட அணுக்கருவின் பொருண்மை ஆகும். Mz என்பது ஈறிலி (∞) ஆனால் இக் கோவை,

$$Rz = R\infty = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}$$

எனச் சுருங்குகிறது. இதிலுள்ள அளவுகளின் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்து $R\infty$-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். மேற்கூறிய அளவுகள் நிறமாலை அளவீடுகளின் அளவு துல்லியமானவை அல்ல. எனவே நிறமாலை முறைகள் மூலம் கணக்கிடப்பட்ட ஹைட்ரஜனின் ரிட்பர்க் மாறிலி $R_H = 109677{\cdot}7$ செ.மீ. $^{-1}$ என்பதையும், $\frac{m}{M_H} = \frac{1}{1840}$ என்றும் தெரிந்த மதிப்பையும்,

$$R_H = R\infty \left(\frac{1}{1 + \frac{m}{M_H}} \right)$$

என்னும் சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தி $R\infty = 109737{\cdot}4$ செ.மீ$^{-1}$ எனக் கணக்கிடப்பட்டது.

சமன்பாடு (5)-ஐ

$$\bar{\nu} = Z^2 Rz \left(\frac{1}{n_1^{\,2}} - \frac{1}{n_2^{\,2}} \right) \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

என எழுதலாம். இது அணுக்கருவின் இயக்கத்தையும் கணக்கில் சேர்த்துக் கொண்டால் செய்யப்பட வேண்டிய மாற்றங்களைக் குறிப்பிடுகிறது. இது எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் ஏற்றதாக இருக்கிறது.

மேற்கூறிய தொடர்பு செய்முறை மூலம் பின்வரும் மூன்று நிகழ்ச்சிகளிலும் மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

1. ஒரு மடங்கு அயனியாக்கப்பட்ட ஹீலியம் நிறமாலை (Spectrum of singly ionised helium)

ஹீலியம் அணு (Z=2) ஹைட்ரஜன் அணுவைப் போல நான்கு மடங்கு பொருண்மையும் இரு மடங்கு மின்னூட்டமும், மற்றும் சாதாரண நிலையில் இரண்டு விளிம்பு எலெக்ட்ரான்களும் (peripheral electrons) கொண்டிருக்கிறது. இதிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரானை நீக்குவதன் மூலம் அதை ஒரு மடங்கு அயனியாக்கம் செய்தால், வழக்கமாக He^+ என்று குறிக்கப்படும் பாக்கியுள்ள அணு, நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கருவினையும் அதனைச் சுற்றி வருகின்ற ஒற்றை எலெக்ட்ரானையும் உடையது ஆகி ஹைட்ரஜன் அணுவைப் போன்ற அமைப்பினைக் கொண்டிருக்கும். ஆகவே ஒரு மடங்கு அயனியாக்கப்பட்ட ஹீலியத்தின் நிறமலை, ஹைட்ரஜனுக்குள்ள நிறமாலையைப் போன்றே இருக்க வேண்டும். ஆனால் ஹீலியத்தில் அணுக்கரு மின்னூட்டம் ஒன்றாய் இல்லாமல் இரண்டாய் இருக்கிறது. மேலும் அணுக்கருவின் பொருண்மை ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் பொருண்மையைப் போல நான்கு மடங்கு இருக்கிறது. எனவே வேறுபாடுகள் காணப்படுமென்றே எதிர்பார்க்க வேண்டும்.

அணுக்கருவின் பொருண்மையில் உள்ள வேறுபாட்டினைக் கருத்தில் கொள்ளாது அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தில் உள்ள வேறுபாட்டினால் ஏற்படும் விளைவினைப் பார்ப்போம் அயனியாக்கப்பட்ட ஹீலியம்

$$\nu = 4R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

என்னும் சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும் பல நிறமாலை வரிகளைத் தருதல்வேண்டும். இது அமைப்பில் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையைப் போன்றே இருக்கிறது. ஆனால் R_H என்பதற்குப் பதிலாக $4R_H$ என்பது வருவதால் He^+ வரிகளின் அலைகள் அலை எண்கள் (wave numbers) இதேபோல் அமைந்த ஹைட்ரஜன் தொடரிலுள்ள வரிகளின் அலை எண்களைப்போல நான்கு மடங்கு பெரிதாக இருக்கின்றன.

இத்தகைய தொடர்கள் (series) ஹீலியத்தின் பொறி நிறமாலையில் (spark spectrum) காணப்பட்டன. இவைகளுக்கு ஃப்ளவர் மற்றும் பிக்கரிங் (fowler and pickering) தொடர்கள் என்று பெயர். முந்திய தொடர் $n_1 = 3$ என்பதற்கும், பிந்திய $n_1 = 4$ என்பதற்கும் ஏற்ப அமைந்தனவாகும். இது போரின் (Bohr) கொள்கையை

மெய்ப்பிப்பதுடன், ஹீலியம் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தைப் போல இரு மடங்கு இருக்கிறது என்பதற்கு மறுக்க இயலாத சான்றாகவும் அமைகிறது.

என்றாலும் இவ்விரு அணுக்களின் நிறமாலைகளையும் நுணுகி ஆராய்ந்ததில் அவைகளிடை உள்ள பொருத்தம் முழுமையற்றதாக இருப்பது காணப்பட்டது. எடுத்துக்காட்டாகப் பிக்கரிங் தொடரில் உள்ள இரண்டாவது வரி,

$$\bar{\nu} = 4R_H\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{6^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$$

என்றாகிறது. இது பாமர் தொடரில் உள்ள முதல் ($H\alpha$) வரியின் அலையெண் ஆகும். துல்லியமான நிறமாலை அளவுகள் இவ்விரு வரிகளும் பொருந்தவில்லை என்பதையும் ஆனால் இரண்டாவது பிக்கரிங் வரி (pickering line) $H\alpha$ வரியின் குற்றலைப் பக்கம் (short wave side) தள்ளப்பட்டிருக்கிறது என்பதையும் காட்டின.

இவ்விரு அணுக்களின் ரிட்பர்க் மாறிலியில் (Ridberg's constant) சிறிது வேறுபாட்டினை விளைவுக்கும். அவைகளின் அணுக்கருப் பொருண்மையையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டு இக் குறைபாட்டிற்கான காரணம் கூறப்பட்டது. R_{He} என்பது R_H என்பதைவிடப் பெரிதாக இருக்கிறது.

ரிட்பர்க் மாறிலியைக் காண்பதற்கான பொதுவான சமன்பாட்டிலிருந்து (சமன்பாடு 6–ல்) இவ்விரு நிறமாலைகளின் ஒத்த கோடுகளுக்கு (corresponding lines)

$$R_H = R_\infty\left(\frac{M_H}{M_H + m}\right)$$

$$R_{He} = R_\infty\left(\frac{M_{He}}{M_{He} + m}\right)$$

$$\frac{R_{He}}{R_H} = \frac{M_{He}\,(M_H + m)}{M_H\,(M_{He} + m)}$$

ஹீலியம் அணுக்கரு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவைப் போல் நான்கு மடங்குகள் இருப்பதால், ($M_{He} = 4M_H$)

$$\frac{R_{He}}{R_H} = \frac{4M_H\,(M_H + m)}{M_H\,(4M_H + m)}$$

$$= \frac{4(M_H + m)}{(4M_H + m)}$$

இதில் மேல் இலக்கம், கீழ் இலக்கத்தைவிடச் சற்று பெரிதாக இருப்பதால் $R_{He} > R_H$ இதன் காரணமாகச் செயல் முறைகளில் கண்டவாறு ஹீலியம் நிறமாலையில் உள்ள ஒரு வரி ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் உள்ள அதை ஒத்த ஒரு வரியைவிட சிறிது அதிக அணு எண்ணும். ஆகவே குறைவான அலைநீளமும் கொண்டிருக்கும்.

ஹைட்ரஜன் நிறமாலை மற்றும் ஹீலியம் நிறமாலை இவைகளிலிருந்து கணக்கிட்ட ரிட்பர்க் மாறிலிகளின் மதிப்புகள் $R_H = 109{,}677{\cdot}7$ செ. மீ. $^{-1}$ மற்றும் $R_{He} = 109{,}722{\cdot}4$ செ.மீ. $^{-1}$ என்பன ஆகும். Li^{++} மற்றும் Be^{+++} என்னும் ஹைட்ரஜன் போன்ற அயனிகளின் நிறமாலைகளும் ஆயப்பட்டன. லிதியத்தின் ரிட்பர்க் மாறிலியாகிய $R_{Li} = 109{,}728{\cdot}9$ செ.மீ. $^{-1}$ ஆகவும், பெரிலியம் (Be) ரிட்பர்க் மாறிலியின் மதிப்பு $R_{Be} = 109722{\cdot}4$ செ.மீ. $^{-1}$ ஆகவும் இருப்பது காணப்பட்டது. எனவே ரிட்பர்க் மாறிலி ஹைட்ரஜனுக்குத்தான் மிகக் குறைவாக இருக்கிறது. அணுக்கருவின் பொருண்மை அதிகமாக அதிகமாக ரிட்பர்க் மாறிலியின் மதிப்பும் அதிகமாகிக் கொண்டே சென்று இறுதியில் அளவற்ற பொருண்மைக்குரிய மாறிலியின் வரம்பு மதிப்பு (limit) ஆகிய $R_\infty = 109{,}737{\cdot}4$ என்னும் மதிப்பினை அடைகிறது.

2. எலெக்ட்ரானின் பொருண்மைக்கும் புரோட்டானின் (proton) பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதத்தினைக் $\left(\frac{m}{M_H}\right)$ கணக்கிடல் :

$$\frac{R_{He}}{R_H} = \frac{4(M_H + m)}{(4M_H + m)}$$

என்னுந் தொடர்பினை எடுத்துக் கொள்ளுவோம்.

$$\frac{R_{He} - R_H}{R_H - \frac{1}{4}R_{He}} = \frac{4M_H + 4m - 4M_H - m}{4M_H + m - M_H - m}$$

$$= \frac{3m}{3M_H} = \frac{m}{M_H}$$

நிறமாலைக் குறிப்புகளிலிருந்து பெற்ற R_{He} மற்றும் R_H இவைகளின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து $\frac{m}{M_H}$ ன் மதிப்பினைப் பெறலாம். இதன் மதிப்பு $\frac{1}{1840}$ என்பது. இது மற்றும் சில முறைகளின் மூலம் கண்ட முடிவுகளுக்கு முற்றிலும் சரியாக இருந்தது. மேலும் $\frac{m}{M_H}$ ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடுவது எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண் (sepecific charge) ஆகிய $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்பினைக் காணுவதற்குச் சமம். ஏனெனில்,

$$\frac{m}{M_H} = \frac{e/M_H}{e/m} \text{ அல்லது,}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{e/M_H}{m/M_H}$$

$\frac{e}{M_H}$ என்பது ஒரு கிராம் ஹைட்ரஜன் அயனி (gramme ion of hydrogen) தாங்கும் மின்னூட்டமாகும். இது மிகத் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்ட ஒரு மாறிலியாகும். (இதன் மதிப்பு 96494 கொலூம்ப் ஆகும்) எனவே $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்பினை மிக எளிதாகப் பெறலாம். அவ்வாறு பெற்ற $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்பு $5 \cdot 31 \times 10^{17}$ நி.மி. அலகுகள் (e. S. U) அல்லது $1 \cdot 77 \times 10^{7}$ மி. கா. அலகுகள் (*e. m. u*) ஆகும். இம் முடிவு எதிர்மின் கதிர்களின் கோட்டமுறும் தன்மையைக் கொண்டு செயல்முறைகள் மூலம் இதுவரைக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ள $\frac{e}{m}$ ன் மதிப்புகள் எல்லாவற்றையும் விட மிகவும் துல்லியமானது.

3. டியூட்ரியம் அல்லது பொருண்மை எண் இரண்டு கொண்ட கன ஹைட்ரஜனைக் கண்டு பிடித்தல் (The discovery of deuterium or heavy hydrogen of mass number two)

ஒரே அணு எண் (Z) கொண்ட அணுக்கள் வெவ்வேறு பொருண்மை கொண்ட அணுக்கருவினைப் பெற்றிருந்தால், நாம் முன்பே கண்டபடி அவைகளுக்குச் சிறிதளவு வேறுபட்ட அலை எண்கள் உடைய வரிகள் இருத்தல் வேண்டும். ஹைட்ரஜனுக்குப் பொருண்மை எண் இரண்டு கொண்ட ஒரு ஐசோடோப்பு

(isotope), இருப்பின் குற்றலை நீளப் பகுதியில் (short wave lengts), பாமர் வரிகளின் ஐசோடோப்பு ஆக்கக் கூறுகள் (isotopic components of Balmer lines) காணப்படல் வேண்டும். ஐசோடோப்பு ஆக்கக்கூறுகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் H∝, Hβ, Hγ மற்றும் Hδ ஆகிய நான்கு வரிகளுக்கும் முறையே 1·793 A°, 1·326 A°, 1·185 A° மற்றும் 1·1194 A° ஆகும் என்பதைக் கணக்குகள் தெரிவிக்கின்றன. டியூட்ரியம் கண்டு பிடிப்பில் முடிந்த சுவைமிக்க சூழ்நிலை குறித்து முன்பே நாம் விளக்கியிருக்கிறோம்.

193-ல் டியூட்ரியத்தின் இருப்பினை (existence) மெய்ப்பிப்பதில் வெற்றி கண்ட பேராசிரியர் யூரே (Urey) மற்றும் அவருடனுழைத்தோர் ஆகியோரின் ஆராய்ச்சிகளை இங்குச் சுருங்கக் கூறுவோம். அவர்கள் மி.மீட்டருக்கு 1·3A° நிறப்பிரிகை (dispersion) உண்டாக்கவல்ல 21 அடி குழிவுக் கீற்றணியைப் (concave grating) பயன்படுத்தி பாமர் தொடரில் உள்ள வரிகளை ஒளிப்படம் எடுத்தனர். முதலில் இயல்பான ஹைட்ரஜனை மின்னிழப்புக் குழாயில் பயன்படுத்தி H∝ மற்றும் Hβ வரிகளின் மங்கலான துணை வரிகளைப் (satellites) பெற்றனர். அவை, முன்பு கணக்கிடப்பட்ட அதே அளவு தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருப்பதைக் கண்டனர்.

யூரேயும் அவருடன் இருந்தவர்களும் வடித்துப் பிரித்தல் (fractional distielation) முறையில் வெவ்வேறு விகித அளவில் H^2 உள்ள (H^2 என்று ஒன்று இருந்தால்) மூன்று விதி ஹைட்ரஜன் மாதிரிக் கூறுகளைத் (samples) தயாரித்தனர். அம் மாதிரிகளைக் கொண்டு பெற்ற நிறமாலையில் H^2-ன் வரிகள் இருக்கக் கூடிய இடங்கள் என்று கணக்கிட்டு எதிர்பார்த்த இடங்களில் காணப்பட்ட வரிகளின் செறிவு விகிதம் அம் மூன்று மாதிரிகளிலும் (samples) இருப்பதாகக் கருதப்பட்ட ஹைட்ரஜனின் கன ஐசோடோப்பின் விகிதத்தில் இருப்பதைக் காட்டினர். இதை மட்டும் அவர்கள் உறுதிப்படுத்தியிராவிட்டால் பாமர் வரிகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் அருகில் காணப்பட்ட மங்கலான வரிகள் மட்டும் அவர்கள் கூற்றுக்குச் சரியான ஒரு சான்றாக இல்லாது போயிருக்கும். மற்ற இரு மாதிரிக் கூறுகளிலும் (samples) இருந்ததைவிட அதிக அளவில் H^2 உடைய மாதிரிக்கூறு, உரிய இடத்தில் அதிக செறிவு உடைய வரிகளைத் தந்தது. இக் கடைசி மாதிரிக் கூறினைக் கொண்டு முதல் நான்கு பாமர் வரிகளுக்கும், அவற்றின் துணை வரிகளுக்கும் (satellites) இடையே உள்ள தூரம் முறையே 1·791. 1·313., 1·176.. மற்றும் 1·088A° அளவுகள்

எனக் கணக்கிட்டனர். இயல்பான ஹைட்ரஜனில் 5000-க்கு ஒரு பங்கு என்னும் விகிதத்தில் H^2 இருக்கிறதென்றும் அவர்களின் செய்முறை காட்டியது.

போரின் கொள்கையைப் பயன்படுத்துதல்

நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடத்தை விளக்குவதற்குப் போர் (Bohr) பயன்படுத்திய கோட்பாடுகள், அணுக்களை அயனியாக்கல் மற்றும் கிளர்ச்சியூட்டல் (excitation), எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை, மூலக்கூறு நிறமாலை போன்ற பல நிகழ்ச்சிகளில் வெற்றி தரும் வகையில் பயன்படுத்தப்பட்டன. அத்தகைய பயன்கள் சிலவற்றை இங்கு பார்ப்போம்.

1. அணுக்களை எழுச்சியுறச் செய்தலும் அயனியாக்கம் செய்தலும் :

போரின் கொள்கைப்படி ஒரு அணு கதிர்வீச்சுத் தன்மையைப் பெற வேண்டுமானால் அதன் எலெக்ட்ரான் அதன் இயல்பான வீதியை விட்டு அதிக ஆற்றல் உள்ள வெளி வீதிக்குத் தற்காலிகமாகச் செல்ல வேண்டும். இவ்வாறு செல்லும்போது அணு கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட நிலையில் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது. அதிக ஆற்றலுடைய வீதிக்கு எலெக்ட்ரான் செல்ல வேண்டுமென்றால் அணுவுக்கு ஆற்றல் கொடுக்கப்பட வேண்டும் என்பது வெளிப்படை. இவ்வாறு அணுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கு எழுச்சியூட்டல்(excitation) என்று பெயர். எலெக்ட்ரான் அணுவை விட்டு வெளியேறுமளவுக்குக் கிளர்ச்யூட்டால் போய்விட்டால் — அதாவது அனுமதிக்கப்பட்ட கடைசி வீதிக்கு ($n = \infty$) எலெக்ட்ரான் போய்விட்டால்—அணு நேர் மின்னூட்டமடையும் இப்போது அணு அயனியாக்கம் செய்யப்பட்டதாகச் சொல்லப்படுகிறது. எழுச்சியூட்டலின் மேல் எல்லைக்கு அயனியாக்கம் என்று பெயர். கிளர்ச்சியூட்டல் மற்றும் அயனியாக்கம் ஆகிய முறைகளில் அணு அதன் இயல்பான நிலையிலிருந்து கிளர்ச்சியுற்ற நிலை அல்லது அயனியாக்க நிலைக்குச் செல்லுவதற்குத் தேவையான ஆற்றலை எடுத்துக் கொள்வதால் இவ்விரு முறைகளும் உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சிகள் (absorption phenomena) எனப்படும். கிளர்ச்சியுற்ற நிலையென்பது இயல்பு மீறிய நிலை (abnormal) ஆதலால் இந்நிலை 10^{-8} செகண்டு அளவினதாக மிகக் குறைந்த காலத்திற்குத்தான் நீடிக்கும். பின்னர் போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டிற்கு (Bohr's frequency condition) ஏற்ப அணுக் கதிர்வீச்சினைப் பின் தொடர்ந்து தன்னுடைய இயல்பான நிலைக்கு வந்துவிடுகிறது.

மாறுநிலை மின்னழுத்தம் (Critical potentials) :

தொடர்ச்சி அற்ற முறையில் ஆற்றல் குவான்டங்களாக ஆற்றல் கதிர்வீச்சு நடைபெறுவது போலவே கிளர்ச்சியூட்டல் மற்றும் அயனியாக்கம் இவற்றில் பங்கு பெறுகின்ற ஆற்றலை உட்கவரும் செயலும் தனித்தனி ஆற்றல் முடிச்சுகளாகவே நிகழும் என்றே எதிர்பார்க்க வேண்டும். அணுவை எழுச்சியுறச் செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றலை, வெளியிலுள்ள முடுக்கப்பட்ட ஒரு எலெக்ட்ரானைக் கொண்டு அதை மோதச் செய்வதன் மூலம் எளிதாகத் தரலாம். எலெக்ட்ரானை முடுக்கமுறச் செய்யும் மின்புலம் அணுவை எந்த குவான்ட நிலைக்கு (quantum state) ஏற்ற வேண்டுமோ அதற்கு ஏற்ற மின்னழுத்தம் கொண்டிருக்கும். முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தம், மாறுநிலை மின்னழுத்தம் (critical potential) என்று கூறப்படும் ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்த மதிப்பிற்குக் கீழே இருக்கின்ற வரையில் மோதுகின்ற எலெக்ட்ரானால் அணுவைக் கிளர்ச்சியுறச் செய்ய இயலாது. இத்தகைய மோதல்கள் மீண்டெழு மோதல்கள் (elastic collisions) எனப்படும். இத்தகைய மோதலில் வெளி இயக்க ஆற்றல் (external K. E) உள்ளார்ந்த ஆற்றலாக (internal energy) மாறுவது இல்லை. மேலும் இடப் பெயர்ச்சி இயக்க ஆற்றல் (Kinetic energy of translation) மற்றும் மோதப்பாடு (momentum) இவை மாறா நிலையில் இருக்கின்றன. இது இத்தகைய மோதலுக்குரிய தற்சிறப்புப் பண்பாகும் (characteristic property) ஆனால் முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தம், மாறுநிலை மின்னழுத்த மதிப்பிற்குமேல் அதிகமாகி விட்டால் மோதுகின்ற எலெக்ட்ரான் குறிப்பிடத்தக்க அளவு இயக்க ஆற்றலை இழக்கிறது. மோதுண்ட அணுவின் உள்ளே ஆற்றல் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. அதனால் கிளர்ச்சியூட்டம் அல்லது அயனியாக்கம் கூட நடைபெறுகிறது. இத்தகைய மோதல் மீண்டெழா மோதல் (inelastic collision) எனப்படும். இத்தகைய மோதல்களுக்கு முதுபழம் மோதல் விதிகளைப் (laws of classical impact) பயன்படுத்த முடியாது.

மாறுநிலை மின்னழுத்தங்களை இருவகையாகப் பிரித்து அறிதல் வழக்கம். அவை எழுச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம் மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் என்பனவாகும் மோதப்படும் அணுவில் உள்ள ஒரு எலெக்ட்ரானை அதன் இயல்பான வீதியிலிருந்து மேல் வீதி ஒன்றுக்கு ஏற்றுவதன் மூலம் மோதுண்ட அணுவை அதன் இயல்பான நிலையிலிருந்து மேல் நிலைக்குக் கொண்டு செல்லுவதற்குத் தேவையான அளவு ஆற்றலை மோதும் எலெக்ட்ரானுக்குத் தரக்கூடிய முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்திற்குக் கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம் (excitation potential) என்று பெயர்.

மோதுண்ட அணுவிலிருந்து ஒரு எலெக்ட்ரானை அணுவை விட்டு வெளியே தள்ளுவதன் மூலம் அணு அயனியாவதற்குத் தேவையான அளவு ஆற்றலை எலெக்ட்ரானுக்குத் தரக்கூடிய முடுக்கந் தரும் மின்னழுத்தத்திற்கு அயனியாக்க மின்னழுத்தம் (isonisation potential) என்று பெயர்.

மோதும் எலெக்ட்ரானுக்குள்ள ஆற்றலின் அளவுடைய ஆற்றலைக் கொண்ட ஒளி வீச்சினைக் (light rediation) கொண்டும் அணுவுக்கு, மோதும் எலெக்ட்ரான் கொடுத்த அதே அளவு கிளர்ச்சியூட்டமும் அதன் காரணமாக அதே அளவு கதிர் வீச்சும் கொடுக்க இயலும். எனவே எழுச்சியூட்ட மின்னழுத்தத்தை ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தம் (resonance potential) என்றும் கூறலாம். இவ்வழுத்தத்திற்கு இசைந்த ஆற்றலை உட்கவர்ந்த அணு பின்னர் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலிருந்து இயல்பான நிலைக்குத் திருப்பி வரும்போது கதிர்வீச்சினை வெளியிடுவதால் இதற்குக் கதிர் வீச்சு மின்னழுத்தம் (radiation potential) என்ற பெயருமுண்டு.

ஏற்ற எடுத்துக்காட்டாக விளங்கும் ஹைட்ரஜன் அணுவினை எடுத்துக்கொள்வோம். n என்னும் வீதியின் ஆற்றலை எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கூறினால் $-\frac{13 \cdot 6}{n^2}$ ஆகும். இதிலிருந்து முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது........ ∞ வீதிகளின் ஆற்றல் முறையே $-13 \cdot 6$.. $-3 \cdot 4$.. $-1 \cdot 51$,........0 என அறிகிறோம். எனவே ஒரு அணுவை அதன் முதல் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைக்குக் (first excited state) கொண்டு செல்ல $(13 \cdot 6 - 3 \cdot 4) = 12 \cdot 2$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றலும் இரண்டாவது கிளர்ச்சியுற்ற நிலைக்குக் கொண்டு செல்ல $(13 \cdot 6 - 1 \cdot 51) = 12 \cdot 09$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டும், அயனியாக்க நிலைக்குக்கொண்டு செல்ல $(13 \cdot 6 - 0) = 13 \cdot 6$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டு ஆற்றலும் தரவேண்டும். இவ்வாறு அணுவை வெவ்வேறு கிளர்ச்சியுற்ற நிலைக்குக் கொண்டு செல்ல தனித்தனி அளவுள்ள ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. $10 \cdot 2$ மற்றும் $12 \cdot 09$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ஹைட்ரஜனின் ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்கள் என்றும் $13 \cdot 6$ எலெக்ட்ரான் வோல்ட் என்பது அதன் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் என்றும் எளிதில் அறிந்து கொள்ளலாம்.

அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களின் எண்ணிக்கையைவிட, பொதுவாக ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருக்கும். ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்தவரை ஒரே ஒரு அயனியாக்க மின்னழுத்தம் மட்டுமே உண்டு. ஆனால் பல எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்களுக்குப் பல அயனி-

யாக்க மின்னழுத்தங்கள் உண்டு. அணு ஒரு மடங்கு அயனியாக்கப்படுதல், இருமடங்கு அயனியாக்கப்படுதல்......... என்பதற்கேற்ப அயனியாக்க மின்னழுத்தம் முதல் வரிசை அயனியாக்க மின்னழுத்தம் (first order conisation potential), இரண்டாம் வரிசை அயனியாக்க மின்னழுத்தம்......... எனப் பலவகைப் படுகிறது. பின்னர் நாம் காணப்போவது போன்று சாதாரண வெளிச் சக்திகளால் பாதிக்கப்படாதவாறு எலெக்ட்ரான்கள் குறுகிய கூடுகளுக்குள் பின்னிக் கிடப்பதால் (interlocked) மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கை கொண்ட அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களே இருக்கின்றன. ஹீலியம் 24·5 மற்றும் 78·6 வோல்ட்டுகள் என்னும் இரு அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களைப் பெற்றிருக்கிறது. மெக்னீஷியமும் (magnesium) 7·6 மற்றும் 15 வோல்ட்டுகளாகிய இரு மின்னழுத்தங்களைப் பெற்றுள்ளது.

மோதுகின்ற எலெக்ட்ரானிடம் உள்ள ஆற்றலையெல்லாம் மீண்டெழா மோதலின் போது மோதுண்ட அணு ஏற்பதாகக் கொள்வோம். கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட அணு அதன் இயல்பான நிலைக்குத் திரும்பும்போது வெளிவிடும் கதிர் வீச்சின் அலை நீளங்களை ஐன்ஸ்டீனின் சமநிலை விதியினைக் (Einstein's law of equivalence) கொண்டு மாறுநிலை விதியினைக் கொண்டு மாறுநிலை மின்னழுத்தத்திலிருந்தும் அல்லது அலை நீளங்களிலிருந்து மாறு நிலை மின்னழுத்தங்களையும் அளவிடலாம்.

V என்பது மாறுநிலை மின்னழுத்தம் என்று λ என்பது வெளியிடப்பட்ட கதிர்வீச்சின் அலை நீளம் என்றும் கொண்டால்,

$$eV = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{eV}$$

V-ஐ வோல்ட்டுகளில் λ-வை ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுகளிலும் (Angstroms) கூற,

$$\lambda = \frac{12345}{V} A^{\circ}$$ ஆகும் என்பதை

நாம் முன்பே கண்டோம்.

எடுத்துக்காட்டுகள் :

முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு எலெக்ட்ரானால் தாக்குண்ட ஹைட்ரஜன் அணுவினை அதன் கிளர்ச்சியுற்ற முதல்

நிலைக்குக் கொண்டு செல்லும் தன்மையுள்ளதாக இருந்தால், அவ்வாறு அதன் இயன்பான நிலைக்குத் திரும்பி வரும்போது வெளிவிடும் கதிர்வீச்சு லைமன் தொடரின் (lyamann series) முதல்வரியினைத் தரும் (fiirst line). அதன் அலை நீளம் செய்முறைகள் மூலம் 12·16 A° எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்நிகழ்ச்சியில் முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு 10·2 வோல்ட்டுகள் ஆதலின் அதற்குரிய கதிர் வீச்சின் அலை நீளம்.

$$\therefore \quad \lambda = \frac{12345}{10 \cdot 2} = 1210 \text{ A}^{\circ}$$

இது செய்முறையில் கண்ட அலைநீளம் (1216A°) λ-வின் மதிப்புடன் நன்கு பொருந்துகிறது.

ஹைட்ரஜனின் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு 13·6 ஆகும். இதற்குரிய அலை நீளம்.

$$\lambda = \frac{12345}{13 \cdot 6} = 908 \text{ A}^{\circ}$$

இது புற ஊதா (far ultra violte) பகுதியில் காணப்படுகிறது. பாதரச ஆவியில் (mercury vapour) செய் முறையில் காணப்பட்ட 2536 A° மற்றும் 1862 A° அலை நீளம் கொண்ட இரு ஒத்த அதிர்வு வரிகள் (resonance lines) இருக்கின்றன. இவைகளிலிருந்து பாதரச ஆவியின் முதல் இரு ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்களைக் (resonance potentials) கணக்கிடலாம்.

$$V = \frac{12345}{2536} = 4 \cdot 87 \text{ வோல்ட்டுகள்.}$$

$$V = \frac{12345}{1862} = 6 \cdot 7 \text{ வோல்ட்டுகள்.}$$

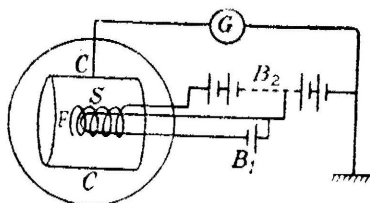
ஒரு அணு போதுமான உயர் நிலைக்குச் சென்று பின்னர் இயல்பான நிலைக்குத் திரும்பும் வழியில் இடையே உள்ள அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்கள் பலவற்றில் இறங்கிக் கொண்டே வருவதால் கதிர்வீச்சுக்கு உரிய முழு நிறமாலையையும் உண்டாக்கக் கூடும், என்பதை நினைவில் வைக்கவேண்டும்.

மாறுநிலை மின்னழுத்தங்களை அளவிடல்

மின்சார முறை :

முடுக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்களை வாயுக்கள் மாற்றும் ஆவிகள் (vapours) இவற்றின் வழியே செலுத்தி அதனுல் ஏற்படும் மின்னேட்டத்தை மின்னேட்ட அளவிகளைக் (galvanometer) கொண்டு அளவிடுவதே இம்முறையின் பொதுவான கோட்பாடாகும். இவ்வாறு அளவிடப்பட்ட மின்னேட்டங்களின் மதிப்புக்கும் சீரான அளவில் மாறும் முடுக்கந் தரும் மின்னழுத்தத்திற்குமான வரைகோடு வரையப்படுகிறது. ஆய்வுக்கு எடுத்துக் கொண்ட வாயு அல்லது ஆவியின் அணுக்களைப் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்குக் கிளர்ச்சியுறச் செய்யும், மீண்டெழா மோதப்பாடுகளுக்கு உரிய மின்னழுத்தங்களில், அவ் வரைகோடு குறிப்பிடத்தக்க தொடர்பின்மை கொண்டிருப்பது தெரிகிறது.

செய்முறை அமைப்பின் இன்றியமையாத பகுதி (படம் 158ல்) F என்னும் ஒரு இழையாகும். இது B_1 என்னும் மின்கல அடுக்கினுல் (battery) சூடாக்கப்படும் போது வெப்ப மின்துகள் எலெக்ட்ரான்களை (thermionic electronsl) உமிழும் ஒரு தோற்றுவாயாகப் பயன்படுகிறது. இந்த இழையை S என்னும் இடைவாய் (grid) சூழ்ந்திருக்கிறது. B_2 என்னும் மின்கல அடுக்கினைக் கொண்டு

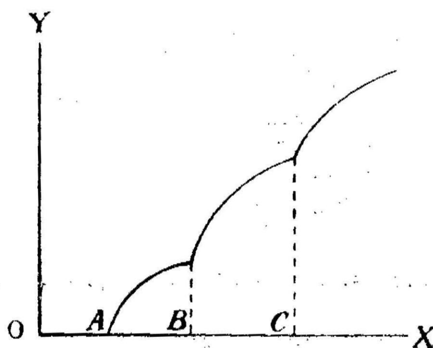


படம் 158
மாறுநிலை மின்னழுத்தத்தின் அளப்பதற்கான கருவி.

இழையைப் பொறுத்த வரை. இடைவாய் எந்த அளவு மின்னழுத்தத்திலும் இருக்குமாறு செய்யலாம். Sக்கும் Fக்கும் இடையில் உள்ள தூரத்தைவிட அதிகமான தூரத்தில், இடைவாயைச் ஒரு உருளை வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வுருளை நுட்பமான ஒரு மின்னேட்ட அளவியுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இழை, இடைவாய் மற்றும் உருளை இவை குறைந்த அழுத்தம் உள்ள, ஆய்வுக்கு எடுத்துக் கொண்ட வாயு அல்லது ஆவி நிறைந்த ஒரு கண்ணுடிக் குமிழில் (bulb) பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

F என்னும் இழையினுல் உமிழப்பட்ட எலெக்ட்ரான் V என்னும் நேர் மின்னழுத்தத்தினுல் இடைவாயாகிய S-ஐ நோக்கி முடுக்கப்படுகின்றன. அவை Sக்கும் Cக்கும் இடையே உள்ள உள்ள இடத்தில் நுழையும் போது eVக்குச் சமமான ஆற்றல் உடையதாகின்றன. எலெக்ட்ரான்கள் வாயுவின் அணுக்களுடன் மோதும்போது ஆற்றலை இழக்காது இருந்தால் அவை உருளையை அடைந்து அங்கு மின்னோட்ட அளவியால் பதிவு செய்யப்படும். முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தம் அதிகமாக அதிகமாக, வாயுவின் அணுக்களை இயல்பான நிலையிலிருந்து ஏதாவது ஒரு ஆற்றல் நிலைக்குக் கொண்டு செல்லப் போதுமான ஆற்றலை எலெக்ட்ரான் பெறுகின்ற வரையில் முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, உருளைக்குச் செல்லும் மின்னோட்டமும் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். அந்நிலை ஏற்பட்டதும் மின்னோட்டம் குறையும். இது எலெக்ட்ரான்கள் வாயுவின் அணுக்களைக் கிளர்ச் சியுறச் செய்வதற்குத் தங்கள் ஆற்றலைக் கொடுத்து விட்டதையும் ஆகவே உருளையை அடையவியலாது இருப்பதையும் காட்டு கிறது.

மின்னோட்டத்திற்கும், முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தத்திற்குமாக வரைப்படம் வரைய படம் 159-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற வரைகோடு கிடைக்கிறது. மின்னோட்டத்தின் குறை வினுல் வரைகோட்டில் ஏற்படும் தொடர்ச்சியின்மை கிளர்ச்சி



படம் 159.

யூட்ட மின்னழுத்தத்தைக் குறிக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக OA என்பது முதல் கிளர்ச்சியூட்ட மின்னழுத்தத்தையும், OB;OC,...... என்பன முறையே, இரண்டாவது, மூன்ருவது .....கிளர்ச்சியூட்ட மின்னழுத்தங்களையும் குறிக்கின்றன. மின்னழுத்தத்தை அதிக

ரித்துக் கொண்டே போனால், வாயு அணுக்கள் அயனியாகும் ஒரு நிலை வருகிறது. இதனால் மின்னோட்டம் மிக அதிகமாகிறது.

இது ஒரு நேரடி முறையாகும். இதில் மாறுநிலை ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தம் (critical resonance potential) முதலியவைகளை மாறு நிலை மதிப்புகளுக்குரிய முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தங்களைக் கொண்டு அளவிடுகிறோம். இம் முறையில் 1903ல் லெனார்ட் (Lenard) என்பார் காற்று, ஹைட்ரஜன்……… போன்ற வாயுக்களின் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தை அளவிட்டார். 1913ல் ஃபராங் (Franck) மற்றும் ஹெர்ட்ஸ் (Hertez) ஆகியோர் பாதரச ஆவியின் (mercury vapour) முதல் ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிட்டனர். எனினும் இம் முன்னோடிகள் பயன்படுத்திய கருவி ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தம் மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் இவைகளிடையே உள்ள தெளிவான வேறுபாட்டினைக் காட்டவில்லை. 1917ல் டேவிஸ் மற்றும் கௌச்சர் (Davis and Gowcher) என்பவர்கள் தெளிவான வேறுபாட்டினைக் கொடுப்பதற்கு ஏற்றவாறு செய்முறை உத்திகளைச் செம்மையாக்கிப் பாதரச ஆவியின் பல்வேறு ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்களையும், அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களையும் அளவிட்டனர்.

நிறமாலை முறை :

கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்கள் இயல்பான நிலைக்குத் திரும்புவதால் உமிழப்படும் நிறமாலை வரிகளின் அலை நீளத்தை அளப்பதே இம் முறையாகும். ஆய்வுக்கான தனிமங்களின் நிறமாலை ஒளிப்படங்களை எடுத்துப் பின்னர் பல்வேறு மாறுநிலை மின்னழுத்தங்களுக்கு உரிய நிறமாலை வரிகளை இனங் கண்டு கொள்கிறார்கள். இதைச் செய்வது எளிதான ஒன்று அன்று. காணப்படும் வரிகளின் அலை நீளங்களை அளவிட்டு, $V = \frac{hc}{e\lambda}$ என்னும் தொடர்பினைப் பயன்படுத்தி மாறுநிலை மின்னழுத்தங்களை எளிதில் கணக்கிடுகிறார்கள். இது பற்றிய அளவுகளில் வில்விளக்கு நிறமாலையில் (are spectra) காணும் முதன்மைத் தொடரின் (principal series) முதல் வரி முதல் ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தத்திற்கும், அதே சமயத்தில் அத் தொடரின் ஒருங்கு வரி (convergence line) எனப்படும். இறுதி வரி முதல் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்திற்கும் உரியதாக இருக்கிறது என்பதை நினைவில் வைக்க வேண்டும். அணுவின் எலெக்ட்ரான் அணுக் கருவை விட்டு மேலும் மேலும் வெளியே செல்லுகின்ற நிலையினை அடுத்து அடுத்து உள்ள வரிகள் குறிப்பிடுவதால் இறுதி வரி முதல் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தைக் குறிப்பிடுவதாகும். அதாவது அணுவி

லிருந்து எலெக்ட்ரானை நீக்கி அதன் மூலம் அயனியாக்க மடைந்த நிலையினைக் குறிப்பதாக ஒருங்கும் எல்லை (converent limit) இருக்க வேண்டும். இந் நிறமாலையில் இடையில் உள்ள மற்ற வரிகள் எஞ்சியுள்ள ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்களைக் குறிக்கின்றன. பொறி நிறமாலையில் (spark spectra) முன்னதாகவே அயனியாக்க மடைந்த அணுவின் நிறமாலைவரிகள் கிடைக்கின்றன. இதன் ஒருங்கு எல்லை இரண்டாம் வரிசை அயனியாக்க மின்னழுத்தத் திற்கு உரியதாகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஹீலியம் வில்விளக்கு நிறமாலையின் ஒற்றை வரித் தொடர் (singlet serier) 188, 298 செ.மீ.$^{-1}$ என்னும் ஒருங்கு அலை எண்ணை (convergence wav number) அல்லது 504·2 A° அலை நீளத்தைக் கொண்டிருக்கிறது இது முதல் அயனியாக்க மின்னழுத்தமாகிய,

$$\left(\frac{12345}{504 \cdot 2}\right) = 24 \cdot 46$$

வோல்ட் என்பதைத் தருகிறது. ஹீலியத்தின் பொறி நிறமாலையில் (spark spectrnm) அயனியாக்கப்பட்ட ஹீலியத்தின் நிறமாலை வரிகள் கிடைக்கின்றன. முதல் தொடரின் ஒருங்கு எல்லை 430,800 செ.மீ.$^{-1}$ ஆகும். இது இரண்டாவது அயனியாக்க மின்னழுத்தம் 54·14 வோல்ட் எனத் தருகிறது.

இம் முறை நேர் முறை அல்ல ஆயினும், முடுக்கந்தரும் மின்னழுத்தங்களைவிட, அலை நீளங்களைத் துல்லியமாக அளக்க இயலும் ஆகையால், மின்சார முறையாகிய நேர்வழி முறையைக் காட்டிலும் நல்ல திட்பமான முடிவுகளைத் தரவல்லது. மில்லிகன் (Millikan), பவன் (Bowan) மற்றும் பலர் இம் முறையைப் பயன்படுத்தி பெரு வெற்றி பெற்றார்கள். பல்வேறு ஒத்த அதிர்வு மின்னழுத்தங்களுக்கு உரிய வரிகளைச் சரியாக இனங்காணுதல் மிகவும் கடினம். ஆனால் ஒருங்கு வரியை எளிதாக இனங் கண்டு கொள்ள இயலும். எனவே அதன் அலை நீளத்தையும் திட்பமாக அளவிட முடியும் ஆகவே இம் முறை அயனியாக்க மின்னழுத்தத் தைக் கண்டு பிடிப்பதற்கு மிகவும் ஏற்றது.

2. எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை

எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து கிடைக்கும் கதிர்வீச்சு, தொடர்ந்த எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை (continuons X-ray spectrum) என்னும் தொடர்ந்த கதிர்வீச்சுப் பின்னணியையும், இலக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்ட உலோகத்தின் தற்சிறப்பினைக் காட்டுகின்ற தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை (characteristic Xray spectrum)

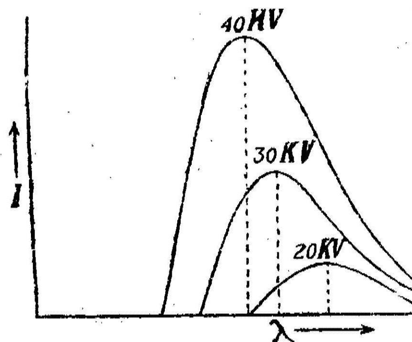
என்னும் வரி நிறமாலையையும் (line spectra) கொண்டிருக்கிறது. அணுவைப் பற்றி போர் கூறிய கருத்து, எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையின் இவ்விரு தன்மைகள் பற்றிய திருப்தியான விளக்கம் தருகிறது.

A. தொடர்ந்த எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை

நாம் முன்னர் குறிப்பிட்டுள்ளபடி ப்ராக்கின் நிறமாலை அளவியிலிருந்து (bragg's spectra meter) பிரதிபலிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையின் செறிவு மிகக் குறைவான மதிப்பினை பெறுகிறதே தவிர ஒரு போதும் சுழி (zero) அளவுக்குக் குறைவதில்லை, என்னும் உண்மை, தொடர் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை என்ற ஒன்று இருப்பதைக் காட்டுகிறது. தற்சிறப்பு வரி நிறமாலை (character-stic line spectrum), இத்தகைய மாறும் செறிவு கொண்ட தொடர்ந்த பின்னணியின் மேல் காணப்படுகிறது. இதிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையில் குறிப்பிட்ட அலை நீளங்களைத் தவிர, இடையீடற்ற அலை நீளங்களின் தொடர் ஒன்றும் உள்ளது என்பது தெரிகிறது. தொடர் நிறமாலையின் அலை நீளங்களுக்கும் இலக்காகப் பயன்படும் பொருளுக்கும் எவ்விதத் தொடர்பும் இல்லை. இவ்வுண்மைதான் இவைகளைத் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களிலிருந்து பிரித்துக் காட்டுகிறது. இவைகள் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் மின்னழுத்தத்தைக் கொண்டு அளவிடப்படுகின்றன.

செய்முறை ஆய்வு (Experimentel study)

எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையின முக்கிய பண்புகள் குறித்து 1915 ல் முதலில் ஆய்வு நடத்தியவர்கள் டான் மற்றும் ஹண்ட் (Duane



படம் 160.

and Hunt) என்ற இருவருமே ஆவர். ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளை இலக்காகக் கொண்ட கூலிட்ஜ் குழாய் ஒன்றையும் பல்லாயிரம்

வோல்ட்டுகள் என்னும் அளவுள்ள கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தத்தையும் பயன்படுத்தி பல அலை நீளங்களைக் கொண்ட ஒரு எக்ஸ்-கதிர்க் கற்றையைப் பெற்றார்கள். பிராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவியைக் கொண்டு பல்வேறு கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தங்களுக்குப் பல்வேறு அலை நீளங்களுக்குரிய அயனியாக்கச் செறிவினை அளந்தார்கள். செய்முறைக் குறிப்புகளைக் கொண்டு I என்னும் அயனியாக்கச் செறிவுக்கும் λ என்னும் அலை நீளத்திற்குமான வரைப்படத்தினை வரைந்த போது படம் 16-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற வரைப்படத்தைப் பெற்றார்கள். ஒவ்வொரு கிளர்ச்சியூட்ட மின்னழுத்தத்திற்கும் வரைகோடு அதிக அலை நீளப் பக்கத்திலிருந்து தொடங்கி உச்சிக்கு ஏறி பின்னர் விரைவில் சுழி அளவுக்கு (zero value) இறங்கி விடுவதைப் பார்க்கிறோம். இது ஒரு குறிப்பிட்ட சிறும அலை நீளம் ஒன்று இருப்பதையும் இந்த அலை நீள அளவுக்குக் குறைந்த அலை நீளமுடைய கதிர் வீச்சு வெளிவருவதில்லை என்பதையும் குறிப்பிடுகிறது. இவ்வுச்ச நிலையின் இடம் கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்து இருக்கிறது. மின்னழுத்தம் அதிகமானால் அது குறைந்த அலை நீளப் பக்கம் நகர்ந்து செல்கிறது.

டான் மற்றும் ஹண்ட் ஆகியோர் சிறும அலை நீளத்தின் எல்லைக்குப் (minimum wave length limit) கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தத்திற்கு மிடையே ஒரு எளிய தொடர்பினைக் (relation) கண்டனர். அத் தொடர்பு λ-ன் சிறும அலை நீள மதிப்பு, பயன்படுத்தப்படும் V என்னும் மின்னழுத்தத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. அல்லது ν-ன் பெருமதிப்பு (maximun value) V-க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. வரம்பு அதிர்வு எண்களுக்கும் (limiting frequency), பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தங்களுக்குமாக வரை படம் வரைந்தால் அது ஆய மையம் (origin) வழியாகச் செல்லும் ஒரு நேர்க் கோட்டைத் தருகிறது. டான் மற்றும் ஹண்ட் ஆகியோர் கண்ட இந்த செயலறி விதி (empirical law) பின் வருமாறு எழுத்துருவில் தரப்படுகிறது.

$$eV = h\nu_{\text{பெருமம்}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{சிறுமம்}}}.$$

இது முற்றிலும் ஐன்ஸ்டீனின் சமநிலை விதியைப் (law of equivalence) போன்றே இருக்கிறது. இவ் விதி பல ஆராய்ச்சியாளர்களால் 50,000 முதல் 1,00,000 வோல்ட்டுகள் வரையிலான பல்வேறு மின்னழுத்தங்களைப் பயன்படுத்தி மெய்ப்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

மேற்கூறிய தொடர்பு ப்ளாங் மாறிலியாகிய hஐ அளப்பதற்குப் பெரிதும் நம்பகமான ஒரு நேரடி முறை என்பதை நாம் மறத்தலாகாது. செய்முறையின் மூலம் பெற்ற வரைப் படத்திலிருந்து (படம் 160) கொடுக்கப்பட்ட கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம் V-க்கு உரிய λ-ன் சிறும மதிப்பினைத் திட்பமாக அறியலாம். e மற்றும் c-ன் தெரிந்த மதிப்புகளைக் கொண்டு, டான் ஹண்ட் இவர்களின் விதியைப் பயன்படுத்தி h-ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம்.

தொடர் நிறமாலையின் கூடுதல் செறிவு, செய்முறை வரைப் படத்தால் அடைபடும் (enclosed) பரப்பைக் கொண்டு கணக்கிடப்படுகிறது. இவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட கூடுதல் செறிவு, இலக்கிற்கும் அயனியாக்க அறைக்கும் இடையில் எக்ஸ்-கதிர்கள் உட்கவரப்படுவது, அயனியாக்க அறையில் எக்ஸ்-கதிர்கள் முற்றிலும் உட்கவரப்படாமை, இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்களும் (secondary electrons), தற்சிறப்புக் கதிர்வீச்சுக் கண் உண்டாதல் போன்றவைகளால் ஏற்படும் பிழைகளுக்கான திருத்தம் தரப்படுகிறது. இவ்வாறு திருத்தப்பட்ட கூடுதல் செறிவு (1) ஒரு குறிப்பிட்ட இலக்கினைப் பொறுத்தவரை, பயன்படுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கும், (2) மாறுத மின்னழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தும்போது இலக்கின் (target) அணு எண்ணுக்கும் சற்றேறக் குறைய நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. உச்ச செறிவின் நிலை குறைந்த அலை நீளப் பக்கம் நகர்கிறது. இது கருமைப் பொருள் கதிர் வீச்சில் (black body radiation) வெப்ப நிலை உயர உயர உச்ச செறிவு நகர்வதை ஒத்து இருக்கிறது.

கொள்கை சார்ந்த விளக்கம் :

இலக்கின் அணுக்கருக்களைச் சூழ்ந்துள்ள வலிமை மிக்கப் புலங்களால் எதிர்மின் கதிரின் எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஏற்படும் கோட்டத்தின் (deflection) விளைவாகத் தொடர் நிறமாலை ஏற்படுவதாக நம்பப்படுகிறது. இதற்கு மாருக எதிர்மின் கதிர்களால் அயனியாக்கமுற்ற அணுக்களில் ஏற்படும் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் மாற்றங்களின் விளைவாக வரி நிறமாலை (line spectrum) உண்டாகிறது. ஒரு நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட அணுக்கருவுக்கு அருகில் செல்லும் எலெக்ட்ரானின் பாதை ஓர் அதிபரவளையம் (hypertrla) ஆகும். தொன்மைக் கொள்கைப்படி, இத்தகைய எலெக்ட்ரானின் முடுக்கம் (acceleration), கதிர்வீச்சுத் துடிப்பு (pulse of radiation) ஒன்றை உண்டாக்கும். இத்தகைய துடிப்பிற்கான செறிவுப் பங்கீட்டு வரைகோட்டினை, இத் துடிப்பினை ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு (Fourier analysis) செய்வதன்மூலம் ஓரின

அலைத் தொடரில் (monochromatic wave train) காணலாம். ஆனால், செறிவுப் பங்கீட்டில் வரம்புள்ள சிறும அலைநீளம் ஒன்று இருப்பதைத் தொன்மைக் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்க முடியாது.

இத் தொடர் நிறமாலையின் "திடீரென முடிவடையும் பண்புக்கு" ஏற்ற விளக்கத்தைக் கொடுப்பதில் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கை பெரு வெற்றி கண்டது. இந் நிகழ்ச்சியினை ஒளிமின் நிகழ்ச்சிக்கு எதிரிடையான நிகழ்ச்சியாகப் பாவித்தால், ν என்னும் அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சு, ஒளியூட்டப்பட்ட அணுவி லிருந்து eV என்னும் ஆற்றலுடைய எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்து வது போல, eV என்னும் ஆற்றலுடைய எலெக்ட்ரான் அணுவை மோதி ν என்னும் அதிர்வு எண் உடைய கதிர்வீச்சை வெளியிடு கிறது என்று கூறலாம். இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளுமே ஐன்ஸ்டீனின் சமநிலை விதியாகிய $h\nu$ பெருமம் $= eV$ என்பதற்கேற்ப நடைபெறு கின்றன. இது டான் மற்றும் ஹண்ட் (Duane and Hunt) ஆகி யோரின் விதியே ஆகும். எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் அதிகரித்தால் வரம்பு அதிர்வு எண்ணும் அதிகரிக்கும். இந்த பெரும அதிர்வு எண்ணுடன் (maximum frequency) குறைந்த அதிர்வு எண்களையும் கொண்ட ஒரு முழு நிறமாலையை நாம் எதிர்பார்த்தல் வேண்டும். ஏனெனில் ஒரு சில எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே அணுக்கருவுடன் ஏற்படும் ஒரே ஒரு மோதலில் (single encounter) ஆற்றல் முழுவதையும் இழக்கின்றன. பல எலெக்ட் ரான்கள் ஆற்றல் முழுவதையும் இழந்து அசையா நிலை பெறு வதற்குமுன் திரும்பத் திரும்ப பல முறைகள் மோதவேண்டியிருக் கிறது. இதனால் ஒரு தொடர் மாலை (continuons spectrum) ஏற் படுகிறது. எனினும் ஒரு குறிப்பிட்ட பெரும அதிர்வு எண்ணில் திடீரென முடிவடைகிறது. அத்தகைய பெரும அதிர்வு எண் $eV = h\nu$ பெருமம் என்னும் தொடர்பிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

நிறமாலை வரிகள் பற்றிய போரின் கொள்கையின் தனிவகை (special) நிகழ்ச்சியாக இதனைக் கொள்ளலாம். எதிர்மின் கதிரின் எலெக்ட்ரான் ஒன்று இலக்கின் அணுவுடன் மோதுகின்ற நிகழ்ச் சியினை, மின்னூட்டமற்ற அணுவும், eV என்னும் ஆற்றல் கொண்ட எலெக்ட்ரானும் உடைய ஆரம்ப நிலையாகக் கருதலாம். மோதலுக்குப் பின்பும் அணு மின்னூட்டமற்ற நிலையிலேயே இருக்க வேண்டுமானால் இறுதிநிலையில் மின்னூட்டமற்ற அணு ஒன்றும் eV^1 என்னும் ஆற்றல் உள்ள கட்டுப்பாடற்ற எலெக்ட் ரான் (free electron) ஒன்றும் இருத்தல் வேண்டும். இங்கு V^1 என்பது V என்பதைவிட குறைவானது. போரின் அதிர்வு எண்

கட்டுப்பாடு (Bohr's frequency condition) ஆகிய $h\nu = e\ (V - V^1)$ என்பதைப் பயன்படுத்தி இம் முறையில் எந்த அதிர்வு எண் கொண்ட கதிர்வீச்சினையும் வெளியிடச் செய்யலாம். $V^1 = 0$ ஆகும் போது பெரும அதிர்வு எண் வெளியிடப்படுகிறது. அப்போது $h\nu = eV$ பெருமம் ஆகும். இது டான் மற்றும் ஹண்ட் விதியாகும்.

செய்முறைகள் மூலம் கண்டதற்கு ஏற்ப $\nu = 0$ என்பதிலிருந்து ν பெருமம் $= \dfrac{eV}{h}$ என்பது வரையிலான தொடர் நிறமாலை ஒன்றையும் மேற்கூறிய பொதுத் தொடர்பு எதிர்பார்க்கிறது.

B. தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை (Characteristic X-Ray spectrum)

தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களைப் பின்வரும் இரு வழிகளில் உண்டாக்கலாம். (1) எந்தப் பொருளின் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் வேண்டுமோ அந்தப் பொருளை எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் இலக்காகப் பயன்படுத்தி அதை எதிர்மின் கதிர் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டு தாக்கச் செய்வது இம் முறையில் எலெக்ட்ரான்களின் வேகம், இலக்காய் அமைந்துள்ள பொருளின் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களை வெளியிடுவதற்குப் போதுமான அளவுடையதாக இருக்க வேண்டும். (2) ஆய்வுக்கான பொருளின் மேல், கடின எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து (hard X-ray tube) வரும் எக்ஸ்-கதிர்களைப் படச் செய்தால் அப் பொருளின் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளி வரும். ஆனால் பொருளின் மேல் விழுகின்ற முதல்நிலை கதிர்கள் (primary rays) தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களை விட அதிக கடினத் தன்மை கொண்டிருக்க வேண்டும்.

செய்முறை ஆய்வு :

முதலில் எக்ஸ்-கதிர்கள் அவைகளின் உட்கவர் திறனைக் (absorbability) கொண்டே பகுத்துணரப்பட்டன. இம் முறையில் 1908 ஆம் ஆண்டில் பார்க்லா மற்றும் சாட்லர் (Barkla and Sadler) ஆகியோர் பல்வேறு தனிமங்களிலிருந்தும் கிடைத்த எக்ஸ்-கதிர்களை அலுமினியத்தில் அவைகளுக்குள்ள பொருண்மை உட்கவர்தல் எண்ணைக் (mass absorption coefficient) கண்டு பிடிப்பதன் மூலம் பகுத்தறிந்தனர். வெவ்வேறு தனிமங்களுக்குக் கிடைத்த உட்கவர்தல் எண்களில் காணப்பட்ட முறையான மாறுதல்களைக் கொண்டு, தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் தனிமங்களின் அணு எடையைப் பொறுத்து இருக்கின்றன என்றும் அணு எடை அதிகமாக அதிகமாக எக்ஸ்-கதிர்களின் கடினத்தன்மையும் அதிகமாகிறது என்றும் நிலைநாட்டினர். ஒரு பொருளிலிருந்து பெற்ற தற்சிறப்பு

எக்ஸ்-கதிர்கள் ஏறக்குறைய ஒருபடித்தான இரு தொகுதிகளாகப் பிரிகின்றன. இவைகளை அவர்கள் K மற்றும் L தொடர்கள் என்று குறிப்பிட்டார்கள்.

ப்ராக்கின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அளவி கண்டுபிடிக்கப்பட்டவுடன், தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களில் தொடர்கள் காணப்படுவது உறுதி செய்யப்பட்டதோடு, பர்க்லாவின் இரு தொடர்களோடு மேலும் பல தொடர்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. ஒவ்வொரு தொடரிலும் வரிகளின் தொகுதி ஒன்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ப்ராக் தன்னுடைய அயனியாக்க நிறமாலை அளவியையும், பிளாட்டினம், ஆஸ்மியம், பலேடியம், ரோடியம் (rhodium) போன்ற தனிமங்களை இலக்காகக் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயையும் பயன்படுத்தி ஆய்வுகள் நடத்தி அயனியாக்கத்திற்கும், சாய்கோணத்திற்குமாக வரையப்பட்ட வரைப்படத்தில் உள்ள முகடுகள் (peaks) நிறமாலை வரிகளைக் குறிக்கின்றன என்றும், அவைகளின் அலை நீளங்கள் இலக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்ட பொருளின் தற்சிறப்புகளைக் குறிக்கின்றன என்றும் ஐயமற நிலை நாட்டினுர். மேலும் காணப்பட்ட அலை நீளங்கள் K மற்றும் L தொடர்களின் கூறுகளே எனவும் காட்டினுர். ஆகவே பர்க்லாவின் 'ஒருபடித்தான கதிர்கள்' உண்மையில் குறுகிய அலை நீளங்களின் தொகுதியாய் அமையும் நிறமாலை வரிகளின் கலவையே ஆகும்.


மோஸ்லி

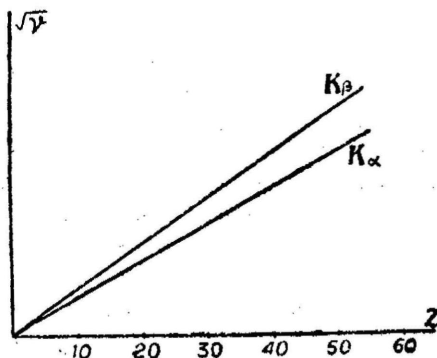
1913-14-ல் மோஸ்லி (Moseley) என்பவரால் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் பற்றிய முறையான, முழுமையான ஆய்வுகள் நடத்தப்பட்டன. அவர் படிக எக்ஸ்-கதிர் படமுறையைக் கையாண்டார் (crystal X-ray photography) அதில் எக்ஸ்-கதிர்களை விளிம்பில் விலகல் (diffract) செய்வதற்குப் பொட்டாசியம் ஃபெர்ரோ சையனைடு (potassium ferro cyanide) படிகத்தைப் பயன்படுத்தினுர். மிருது எக்ஸ்-கதிர்கள் (soft X-rays) உட்கவரப்படுவதைக் குறைக்கும் பொருட்டு ஒளிப்படப் பெட்டி (camera) வெற்றிடமாக்கப்பட்டது. எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயில் அலுமினியம் முதல் தங்கம் ஈருக, 38 பல்

வேறு தனிமங்களை இலக்காகப் பயன்படுத்தி 0·4 முதல் 8A° அலைநீளங் கொண்ட எக்ஸ்-கதிர்களை ஆராய்ந்தார். ஒளிப்படத் தகட்டைக் கழுவிப் பார்த்தபோது அதில் வேறுபட்ட செறிவுகளைக் கொண்ட சுவடுகள் (traces) காணப்பட்டன. அச் சுவடுகள் ஒவ்வொன்றும் இலக்கின் தற்சிறப்பிணைக் காட்டும் நிறமாலை வரிகளைக் (characteristic lines) குறிப்பிடுகின்றன. இவ்வாறு பெறப்பட்ட நிறமாலை வரிகளைப்பற்றிய விரிவான ஆய்வுகளிலிருந்து மோஸ்லி பின்வரும் முடிவுகளைப் பெற்றார்.

(a) நிறமாலை வரிகளைத் தனிப்பட்ட இரு தொகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று குறைந்த அலைநீளங் கொண்ட K தொடரினைச் சேர்ந்த தொகுதி. இரண்டு முன்பு கூறியதைவிட அதிக அலைநீளங் கொண்ட L தொடரினைச் சேர்ந்த தொகுதி.

(b) தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் ஒளியியல் நிறமாலைகளைப் (optical spectra) போலன்றி மிகக் குறைந்த வரிகளை உடைய எளிய தோற்றங்கொண்டிருந்தன. அலைநீள அளவு மாறுகின்ற தென்பதைத் தவிர எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் ஒரே அமைப்பைக் கொண்டிருந்தன. பொதுவாக எந்தத் தனிமத்திலிருந்து வரிகள் உண்டானதோ அத் தனிமத்தின் அணு எடை அதிகமாக அதிகமாக அவைகளுக்குரிய வரிகள் குறைந்த அலைநீளப் பக்கத்தில் தோன்றுகின்றன.

(c) ஒரு தொடரில் உள்ள குறிப்பிட்ட ஒரு வரிக்கும்—K_α வரி என்று கொள்ளுவோம்—அதனை வெளியிடும் தனிமத்தின் அணு எண் Z-க்கும் இடையே ஒரு எளிய தொடர்பு இருக்கிறது



படம் 161.

ஒரு குறிப்பிட்ட வரிக்கு அதிர்வெண்களின் வர்க்கமூலங்களுக்கும் (square roots) அவ் வரியினை வெளியிடுகின்ற தனிமங்களின் அணு எண்களுக்குமாக வரையப்பட்ட வரைபடம் 161-ல் காட்டியுள்ளவாறு நேர்கோடாக இருந்தது. அதே ஒருபடித் தொடர்பு (linean relation) ஒரு தொடரின், எந்த வரிக்கும் (any line) பொருந்துவதாயிற்று. அத் தொடர்பினை $\nu = a\ (Z - b)^2$ என்பதால் குறிப்பிடலாம். இதில் a மற்றும் b என்பன அத் தனிமத்தின் தற்சிறப்புக் காட்டும் மாறிலிகள் (characteristic constants) இவ் வரை படத்திற்கு மோஸ்லி படம் என்று பெயர். மேற்கூறிய நேர்க் கோட்டுத் தொடர்பு மோஸ்லி விதி (Moseley's laws) எனப்படும். மோஸ்லி விதி கூறுவதாவது. ஓர் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையில் உள்ள வரியின் அதிர்வு எண் அவ் வரியினை உமிழும் தனிமத்தின் அணு எண்ணின் இரு படிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. $\sqrt{\nu}$-க்கும் அணு எண்ணுக்குமான—அணு எடைக்குமான அல்ல—வரைப்படம்தான் நேர்க்கோடாக இருக்கிறது, என்னும் உண்மையிலிருந்து ஒரு தனிமத்தின் பௌதிக இரசாயன தறசிறப்புப் பண்புகளை நிர்ணயிப்பது அணு எண்ணே தவிர அணு எடை அல்ல என்பது தெரிகிறது.

(d) மோஸ்லியின் ஆராய்ச்சிகள் பின்வரும் முறைகளில் தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணையைச் செம்மைபடுத்த உதவியது.

(i) அணு எடையைக் கொண்டு தனிமங்களை வரிசைப் படுத்தியதில் சில தனிமங்களின் வரிசையில் (order) ஏற்பட்ட முரண்பாடுகளை நீக்கியது. எடுத்துக்காட்டு: மடக்கு நிலை அட்டவணையில் ஆர்கான் ($_{18}A^{40}$), பொட்டாசியத்திற்கு ($_{19}K^{39}$) முன்னால் வருகிறது. இதைப் போலவே கொபால்ட் ($_{27}Co^{58.9}$) நிக்கலுக்கு ($_{28}Ni^{58.7}$) முன்பாகவும் இதைப் போன்றே வேறு சில இடங்களிலும் வருகின்றன. இவ்வாறு அணு எடையைப் பொறுத்துத் தலைகீழான முறையிலும் ஆனால் இரசாயனப் பண்புகளைப் பொறுத்துச் சரியான முறையிலும் அமைந்திருக்கிறன. அணு எடையின் அடிப்படையில் வைத்துப் பார்ப்பதற்குப் பதிலாக அணு எண்ணின் அடிப்படையில் நோக்கினால் வரிசை அமைப்புச் சரியான ஒன்றாக இருக்கிறது.

(ii) புதிய தனிமங்களைக் கண்டு பிடித்தல்: எடுத்துக்காட்டு ஹாஃப்னியம் (72) இல்லினியம் (61), மெசூரியம் (43) ரீனியம் (75)......முதலிய தனிமங்கள் மோஸ்லி படத்தின் இடைவெளிகளால் குறிப்பிடப்பட்டனவே ஆகும்.

(iii) அரிய நிலத் தனிமங்களின் (Rare earths) அணு எண்ணைக் கண்டுபிடித்து அதன் மூலம் அட்டவணையில் அவைகளுக்கான இடத்தை அறுதியிடல்.

சில பொருள்களை இரசாயன முறையில் பகுப்பாய்வு செய்வது சிக்கல் நிறைந்ததாகவும் அதிக நேரம் பிடிப்பதாகவும் இருக்கும். ஆனால் மோஸ்லியின் காலத்திற்குப் பின் எக்ஸ்-கதிர் தற்சிறப்பு நிறமாலைகளின் ஆய்வு அப் பொருள்களைக் கணிசமான அளவு விரைவில் பகுப்பாய்வு செய்ய வழி பிறந்தது.

மோஸ்லியின் கருவியையவிட நன்கு செம்மைப்படுத்தப்பட்ட கருவிகளைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட ஆய்வுகள் எக்ஸ்-கதிர்களின் தற்சிறப்பு நிறமாலை பற்றிய அறிவைப் பெருக்கின. இப்போது அநேகமாக எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் நிறமாலைகள் வரையப்பட்டு விட்டன. K மற்றும் L தொடர்களுடன் கூட M, N மற்றும் O போன்ற தொடர்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவைகளில் K தொடர் மட்டும் தனியாக இருக்கிறது. L தொடரில் மூன்று துணைத் தொகுதிகளும் (sub-groups) M தொடரில் ஐந்து துணைத் தொகுதிகளும், N தொடரில் ஏழும் இருக்கின்றன. L தொடரில் 30-க்கும் அதிகமான வரிகளிருக்கின்றன. அவ் வரிகள் $K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $K\beta_1$, $K\beta_2$, $L\alpha_1$, $L\alpha_2$, $L\beta_1$, $L\beta_2$ என்ற குறியீடுகளால் அழைக்கப்படுகின்றன.

ஓர் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையில் உள்ள வரிகளின் எண்ணிக்கை, தனிமத்தையும் மற்றும் கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தத்தையும் பொறுத்திருக்கிறது. மிகக் கனமான தனிமங்களான யுரேனியம், தோரியம் போன்றவை K, L, M, N ஆகிய எல்லாத் தொடர்களையும் கொண்ட முழு நிறமாலையைத் (complete spectrum) தருகின்றன. இலேசான தனிமங்களை நோக்கிச் செல்லச் செல்ல வரிகளின் எண்ணிக்கைக் குறைகிறது. தொடர்களும் ஒன்றன்பின் ஒன்றாகக் குறைந்து இறுதியில் மிகவும் இலேசான தனிமங்களுக்கு K தொடர் மட்டுமே மிஞ்சுகிறது. கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்தவரை நாம் எதிர்பார்ப்பது போலவே அதிக அதிர்வெண்களைக் கொண்ட தொடர்களை உண்டாக்க அதிக மின்னழுத்தம் தேவையாய் இருக்கிறது. கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம் அந் நிறமாலையைத் தருகின்ற அணு எண்ணின் இருமடிக்கு (square) ஓரளவு நேர்விகிதத்தில் இருப்பது தெரிந்தது.

கொள்கை வழி விளக்கம் (Theoretical explanation) :

தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளின் முக்கிய பண்புகளைப் பற்றிய தொடர்பான விளக்கத்தைப் போரின் கொள்கை தருகிறது

Z என்னும் அணு எண் கொண்ட ஒரு தனிமத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். அது Ze என்னும் நேர்மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கருவினை அதன் மையத்திலும் அதைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் அமைந்த—அதாவது பல்வேறு தொகுதிகளாக அல்லது மண்டலங்களில்—Z எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருக்கிறது. முதல் ஆற்றல் வீதிக்கு ($n=1$) ஏற்புடைய உள் மண்டலத்தில் (shell) இரண்டே எலெக்ட்ரான்களும், அதற்கு அடுத்ததில் ($n=2$) எட்டு எலெக்ட்ரான்களும் மூன்றாவதில் ($n=3$) பதினெட்டு எலெக்ட்ரான்களும் இவ்வாறே மற்ற மற்ற மண்டலங்களிலும் இருக்கும் என்று எண்ணுவதற்குப் போதிய காரணங்கள் இருக்கின்றன. அடுத்து அடுத்து உள்ள மண்டலங்கள் K, L, M......... என்றிவ்வாறு பெயரிடப்படுகின்றன. இயல்பான நிலையிலுள்ள அணுவின் உள் மண்டலங்களில் அந்த அந்த மண்டலங்களுக்குரிய அளவு எலெக்ட்ரான்கள் நிரம்புமாறும். வெளியே உள்ள மண்ட லங்களில் அரைகுறையாக நிரம்பிய நிலையில் உதிரி எலெக்ட்ரான்கள் (stary electrons) இருக்கும்படியும் அணுவின் Z எலெக்ட்ரான்களும் அமைந்துள்ளன. எல்லாவற்றிற்கும் உள்ளே இருக்கின்ற மண்டலத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவுடன் வலுவாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. எனவே அத்தகைய எலெக்ட்ரான்களைப் பிரித்தெடுப்பதானால் அதிக வேலை செய்ய வேண்டியிருக்கும். மண்டலம் அணுக்கருவிலிருந்து எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அருகில் இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு செய்ய வேண்டிய வேலையின் அளவும் அதிகமாக இருக்கும். எனவே K மண்டலத்திற்கு மிகமிக அதிகமாகவும், L மண்டலத்திற்கு அதைவிடக் குறைவாகவும், M மண்டலத்திற்கு இன்னும் குறைவாகவும், இவ்வாறே குறைந்து கொண்டே செல்லும். மேலும் எல்லாவற்றிற்கும் உள்ளே உள்ள மண்டலத்தில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு ஒழுங்காகவும், எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் இலேசான சில தனிமங்களைத் தவிர — ஒரே மாதிரியாகவும் இருக்கிறது. அணுக் கருவில் உள்ள Ze என்னும் நேர்மின்னூட்டம் உட் தொகுதிகளைச் சேர்ந்த எலெக்ட்ரான்களை ஈர்க்கும் விசையின் அளவு மட்டுமே அணு எண்ணுடன் சேர்ந்து மாறுகின்ற ஒன்றாகும். அரைகுறையாக நிரப்பப்பட்டுள்ள வெளி மண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள், அவைகளைப் பிரித்தெடுக்கத் தேவையான கணிசமான அளவு குறைந்த, உழைப்பின் அளவினை வைத்து வகைப்படுத்துகின்றன. இவை வெவ்வேறு தனிமங்களில் வெவ்வேறு அளவுகளில் அமைந்துள்ளன. இவை, மோதல் மற்றும் இரசாயன விசைகள் (chemical forces) போன்ற வெளித் தொந்தரவுகளுக்கு அதிக அளவில் ஆளாகின்றன. இத்தகைய விசைகள் இந்த எலெக்ட்ரான்களை இன்னும்

வெளியே உள்ள—அணுவின் இயல்பான நிலையில் போகாத—ஆற்றல் மட்டங்களுக்குக் கொண்டு செல்கின்றன. (கிளர்ச்சியூட்டப்படுகின்றன) அல்லது அணுவிலிருந்து முற்றிலுமாக நீக்கப்படுகின்றன (அயனியாக்கம்).

எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளை உண்டாக்குவதற்கு அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுவதால் எக்ஸ்-கதிர்கள் எல்லாவற்றிற்கும் உள்ளே இருக்கின்ற மண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் செயலினால் ஏற்படுகின்றன என்று கொள்ளலாம். தாறுமாறான அமைப்பிலோ அல்லது மடக்குநிலை மாறுதலோ (periodic variation) இல்லாத ஒழுங்கான முறையில் உள் மண்டல எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்திருப்பதிலிருந்தும் அணுவின் வெளிமண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் போலன்றி எல்லாத் தனிமங்களிலும் ஒரே அடிப்படை அமைப்புக் கொண்டிருப்பதிலிருந்தும், எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளின் எளிமைக்கும் ஒத்த இயல்புகளுக்குமான காரணங்களை எளிதில் உணர முடிகிறது. அதே நேரத்தில் அணு எண்ணுடன் சேர்ந்து அதிகமாகிக் கொண்டே போகின்ற அணுக்கருவின் ஈர்ப்பு விசையால் ஏற்படும் உட்தொகுதி எலெக்ட்ரான்களின் பல்வேறு சமநிலைகள், அணு எண் அதிகமாக அதிகமாக எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அதிக அதிர்வு எண் பக்கமாகச் சீராகத் தள்ளிக் கொண்டே போவதற்கான விளக்கத்தைத் தருகின்றன. அணு எண்ணின் இருமடிக்கு (square) ஏற்ப கிளர்ச்சியூட்ட மின்னழுத்தம் அதிகரிப்பதற்கான காரணத்தையும் அணுக்கருவின் ஈர்ப்பு ஆற்றலில் ஏற்படும் மாறுதல் விளக்குகிறது.

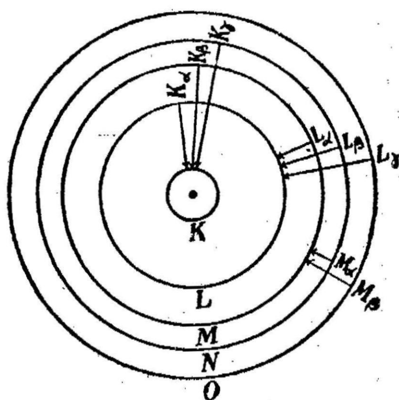
எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயின் இலக்கில் உள்ள ஓர் அணுவை அதிக வேகமுடைய—அணுவை ஊடுருவிச் சென்று அதன் உள் மண்டலம் ஒன்றிலுள்ள எலெக்ட்ரான் ஒன்றை வெளியே தள்ளி விடக் கூடிய அளவு ஆற்றல் உடைய—எலெக்ட்ரான் தாக்குவதாகக் கொள்வோம். எடுத்துக்காட்டாக K மண்டலத்தில் உள்ள இரு எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்றை வெளியேத் தள்ளுவதாகக் கொள்ளுவோம். இவ்வாறு K மண்டலத்தில் ஏற்பட்ட காலியிடத்தை, வெளிமண்டலம் ஒன்றிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான்—எடுத்துக்காட்டாக அடுத்துள்ள L மண்டலத்தின் எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்று - விரைந்து வந்து நிரப்பும். இந் நிலையில் அணு L நிலையிலிருந்து K நிலைக்கு மாற்றம் அடைகிறது. இதனால் உண்டான அதிகப்படியான ஆற்றல் ஒரு குவான்டமாக (quantum) உமிழப்படுகிறது. இத்தகைய ஓர் அணு நிகழ்ச்சியால்தான் K_α வரி உமிழப்படுவதாகக் கூறப்படுகிறது. K_α வரிக்கு ஏற்புடைய ஆற்றல் முடிச்சாகிய $h\nu_\alpha$ என்பது போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டின்படி $h\nu_\alpha = W_K - W_L$ என்பதிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

இங்கு W_K மற்றும் W_L என்பன முறையே K மற்றும் L நிலைகளில் அணுவின் ஆற்றலைக் குறிக்கின்றன.

இதே முறையில் M மண்டலத்தில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் K மண்டலத்தில் ஏற்பட்ட காலியிடத்தை நிரப்புவதற்குச் சென்றால் $K\beta$ வரி உண்டாகிறது. இந்த வரியின் அதிர்வு எண் $h\nu\beta = W_K - W_M$ என்பதிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இதே முறையை ஏதேனும் ஒரு தொடரினைச் சேர்ந்த ஏதேனும் ஒரு வரிக்குக் காரணம் கூறவோ, அல்லது ஏதேனும் ஒரு தற்சிறப்பு வரியினை அறிவதற்கோ பயன்படுத்தலாம். எடுத்துக்காட்டாக L மண்டலத்தில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் அணுவை விட்டு வெளியே தள்ளப் பட்டாலோ அல்லது K மண்டலத்திலுள்ள காலியிடத்தை நிரப்புவதற்காகச் சென்றுவிட்டாலோ L-ல் மண்டலத்தில் ஏற்படும் காலியிடத்தை அதற்கு வெளியே உள்ள M, N...போன்ற மண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான் ஒன்று நிரப்பக்கூடும். இவ்வாறு L தொடரின் வரிகள் உண்டாகின்றன. இலக்கின் பல அணுக்கள் ஒரே சமயத்தில் பங்கேற்று பல தொடர்களைச் சேர்ந்த வரிகளைத் தருகின்றன. போதுமான அளவு உயர்ந்த அதிர்வு எண் கொண்ட முதல் நிலை எக்ஸ்-கதிர்களை (primary X-rays) நிறமாலை வரிகளைத் தருகின்ற பொருளின் மீது விழச் செய்தாலும் இதே நிகழ்ச்சிதான் நடைபெறும்.

கோசலின் படம் (Kossels diagram) :

எக்ஸ்-கதிர் வரிகளின் பிறப்பிடத்தைக் கோசல் என்பார் தந்த படத்தின் மூலம் குறிப்பிடலாம் (படம் 162). ஒரு குறிப்பிட்டத் தொடரின் வரிகள் (எடுத்துக்காட்டாக K தொடர்) வெளி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் K மண்டலத்திற்கு மாறி வருவதால் உண்டாகின்றன. இலேசான தனிமங்களின் (H, He) ஒளியியல் நிறமாலை (optical spectrum) காணப்படும் தொடர்கள் அத் தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர்களே ஆகும். ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் உள்ள லைமன், பாமர் மற்றும் பாசன் தொடர்களை K, L மற்றும் M தொடர்களுக்கு இணையாகக் கூறலாம். பொதுவாக இலேசான

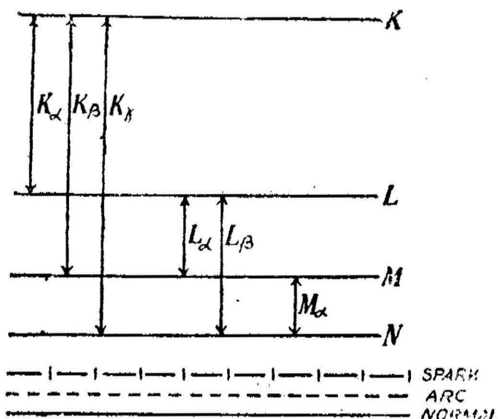


படம் 162. (கோசலின் படம்)

தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் சிக்கல் மிகுந்ததாக ஆவதாலும், அணுத் தன்மையை இழப்பதாலும் ஒளியியல் நிற மாலைகளைப்போல் தோற்றமளிக்கின்றன. வரையறுத்துக் கூறினல் மிகக் கனமான தனிமங்களின் K மற்றும் L தொடர்கள் எக்ஸ்-கதிர்ப் பகுதியையும் P மற்றும் Q தொடர்கள் புற ஊதாப் பகுதியை யும் சேர்ந்திருக்கின்றன. இலேசான தனிமங்களிலிருந்து கனமான தனிமங்களை நோக்கிச் செல்கையில், எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக் கூடிக் கொண்டே செல்கிறது. எனவே அவை களுக்குத் தக்கபடி மண்டலங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகிக் கொண்டே செல்கிறது. இதனல் நாம் நடைமுறையில் காண் பதைப் போன்று தொடர்களின் எண்ணிக்கையும், அத் தொடர் களில் உள்ள வரிகளின் எண்ணிக்கையும் பெருகிக் கொண்டே செல்கிறது.

எக்ஸ்-கதிர் ஆற்றல் மட்டப் படம் (X-Ray energy level diagram):

ஒளியியல் நிறமாலைகளைப் போலவே எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை களையும் படம் 163-ல் காட்டியுள்ளதைப் போன்ற ஆற்றல் மட்டப் படங்களின் (energy level diagram) உதவியால் எளிதாகக் குறிப்



படம் 163. எக்ஸ்-கதிர் ஆற்றல் மட்டப் படம்

பிடலாம். இத்தகையப் படங்களில் எக்ஸ்-கதிர் மட்டங்களுக்கு இடையே ஏற்படும் மாற்றங்களைக் குறிக்கும் கோடுகள் ஒவ்வொரு முனையிலும் அம்புக் குறியுடன் வரையப்படுகின்றன. இது எலெக்ட் ரான் மேல் நோக்கி நகர அணு கீழ் நோக்கி நகருகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இவ்வாறு K∝ வரியினை வெளியிடும்போது ஓர் எலெக்ட்ரான் L மண்டலத்திலிருந்து K மண்டலத்திற்குச் செல்

கிறது. அதே சமயத்தில் அணு உயர்ந்த K மட்டத்தில் (K level) தாழ்ந்த L மட்டத்திற்கு வருகிறது. அணு K மட்டத்திலிருந்து M மட்டத்திற்கு மாறிச் செல்வதால் $K\beta$ வரி உண்டாகிறது. இந் நிகழ்ச்சியில் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு அதிகம் ஆதலால் $K\beta$ வரி $K\alpha$ வரியைவிட அதிக அதிர்வு எண் (frequency) அல்லது குறைந்த அலை நீளம் உடையதாக இருக்கிறது. K நிலையிலிருந்து இயல்பு நிலைக்கு ஏற்படும் அணுவின் மாற்றம் கட்டுப்பாடற்ற. இயக்க ஆற்றல் மிகக் குறைவாயுள்ள ஒரு எலெக்ட்ரானை அணு தனது K மண்டலத்தில் காலியான இடத்தை நிரப்புவதற்காகப் பிடித்துக் கொண்டிருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இதனால் K தொடரின் வரிகள் உண்டாகின்றன. இதே முறையில் L, M, N ... தொடர்களுக்குரிய வரிகளும் உண்டாகலாம். இயல்பு மட்டத்திற்குச் (narmal level) சற்று மேலே வில்விளக்கு நிறமாலை வரிகளை (lines in are spectrum) உமிழ்வதற்குரிய ஒளியியல் மட்டங்களின் தொகுதி ஒன்று இருக்கிறது. இத் தொகுதிக்கு மேலே அயனியாக்கப்பட்ட அணுவுக்கு உரிய, எக்ஸ்-கதிர் மட்டங்களைப் போன்ற, கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளி, மற்றும் புற ஊதாப் பகுதி இவைகளில் உள்ள பொறி நிறமாலையுடன் (spark spectrum) தொடர்பு கொண்ட ஒரு தொகுதி இருக்கிறது. சாதாரண எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் ஒரு வகையில் உயர்ந்த அளவு ஆற்றலுடைய பொறி நிறமாலையின் தொடர்ச்சியாக அமைகிறது. இது அதன் வெளி எலெக்ட்ரான்களின் (outer electrons) கிளர்ச்சியூட்டத்தினால் உண்டாகிறது என்பதைவிட அயனியாக்கப்பட்ட அணுவின் உள் எலெக்ட்ரான்கள் நீக்கப்பட்டதால் ஏற்பட்ட காலியிடங்களினால் ஏற்படுகிறது என்று கூறலாம்.

எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையியலின் (spectroscopy) துல்லியமான முறைகள், $K\alpha$, $K\beta$, $L\alpha$, $L\beta$ போன்ற ஒவ்வொரு வரியும் நாம் முன்பே குறிப்பிட்டுள்ளதைப் போன்று இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட துணைக் கூறுகளைக் (components) கொண்ட நுண் அமைப்புக் (fine structure) கொண்டிருப்பதைக் காட்டின. எளிய போரின் கொள்கை இத்தகைய நுண் அமைப்பினை விளக்கும் திறனற்று இருந்தது. இது இன்னும் சிறந்த அணு மாதிரிகள் தோன்றுவதற்குக் காரணமாய் அமைந்தது.

3. மூலக் கூறு நிறமாலைகள் (Molecular spectra)

இதுவரை நாம் கண்ட நிறமாலைகள் அணு நிறமாலைகள் எனப் படும். இவை அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பில் ஏற்படுகின்ற மாற்றங்களின் விளைவாக உமிழப்படு கின்றன. மூலக் கூறுகளால் உமிழப்படும் பட்டை நிறமாலை (band

spectrum) அல்லது மூலக்கூறு நிறமாலை (molecular spectrum) எனப்படும் இன்னொரு வகை நிறமாலையும் உண்டு.-அதாவது தனிமம் மூலக்கூறு நிலையில் இருக்கையில் உமிழப்படும் நிறமாலை. பட்டை நிறமாலை என்ற பெயர், மிகக் குறைந்த பிரித்துக்காட்டுந் திறன் கொண்ட நிறமாலைக் காட்டிகள் (spectro scopes) இருந்த காலத்தில் கொடுக்கப்பட்ட பெயராகும். அக் கருவிகளின் மூலம் நிறமாலையில் அமைந்துள்ள துணை வரிகளைத் தனித்தனியாகக் காண இயலாது. அவை ஒன்று சேர்ந்து மங்கிச் செல்லும் பட்டைகளாகத் தோற்றமளித்தன. இது பல பட்டைகளாகப் பிரிக்கப் பட்ட தொடர் நிறமாலை ஒன்றின் தோற்றத்தைத் தந்தது. மூலக் கூறுகள் பிரிந்து அணுக்களாக மாறக்கூடிய வெப்ப நிலைக்கு அத் தனிமத்தைச் சூடாக்கியபோது பட்டைகள் மறைந்து விட்டன. இதிலிருந்து இத்தகைய நிறமாலைகள் மூலக்கூறு களால்தான் உண்டாகின்றன என்னும் உண்மை நிலைநிறுத் தப்பட்டது.

அதிகப் பிரி திறன் கொண்ட கருவிகளைக் கொண்டு ஆயும் போது பட்டை நிறமாலை மூன்றுவகை அமைப்புகள் பெற்றிருப்பது தெரிந்தது. (i) ஒவ்வொரு பட்டையிலும் பல வரிகள் இருக் கின்றன. அவ் வரிகள் மிக ஒழுங்காக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஓர் இடைவெளியிலிருந்து தொடங்கி இரு புறமும் விரிந்து செல் கின்றன. அவை பட்டையின் தலைப் பக்கத்தில் நெருக்கமாகத் தோன்றுகின்றன. (ii) பல பட்டைகள் ஓர் ஒழுங்கான தொட ராக ஒன்றை ஒன்று தொடர்ந்து பட்டைத் தொகுதி (group of bands) ஒன்றை உருவாக்குகின்றன. (iii) அத்தகைய பல தொகுதிகள் நெருங்கி ஒழுங்காக அமைந்து பட்டை அமைப்பினை (band system) ஏற்படுத்துகின்றன. முழுமையான மூலக்கூறு நிறமாலையில் பல பட்டை அமைப்புகள் (systems) அடங்கியிருக் கின்றன. சில சமயங்களில் அடுத்தடுத்துள்ள பட்டைகள் ஒன்றின் மீது மற்றொன்று மீதூர (overlap) வரிகளின் ஒழுங்கு அமைப்புக் குலைந்து விடுகிறது. இதனால் நிறமாலை ஆய்வு கடின மாகி விடுகிறது.

பல பொருள்கள் வெவ்வேறு நிறமாலைப் பகுதிகளில் பட்டை நிறமாலைகளை உண்டாக்குகின்றன. அதாவது சேய்மை புறச் சிவப்புப் (far infra-red) பகுதி இது 150μ முதல் 30μ வரை யுள்ளது. ($1\mu = 10,000A^\circ$) அண்மை புறச் சிவப்பு (near infra red) இது 5μ முதல் 1μ வரை உள்ளது; மற்றும் புற ஊதாப் பகுதி (ultra violet) இது $7000A^\circ$-லிருந்து $1000A^\circ$ வரை யுள்ளது. இம் மூன்று நிறமாலை அமைப்புகளும் அவைகளின்

உற்பத்தி பற்றிய கருத்துகளுக்கு ஏற்ப, முறையே கலப்பற்ற சுழற்சிப் பட்டை (pure rotation band), சுழற்சி அலைவுப் பட்டை (rotation-vibration band) மற்றும் எலெக்ட்ரான் பட்டை என்றழைக்கப்படுகின்றன.

செய்முறை ஆய்வு :

சேய்மை புறச் சிவப்புப் பகுதியில் உள்ள சுழற்சிப் பட்டைகள் ஹைட்ரஜன் ஹாலைடுகளின் உட்கவர்தல் நிறமாலைகளில் (absorption spectra) செர்னி (Czerny) என்பவரால் முதன் முதலில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டன. அவர் HClஐப் பயன்படுத்திய போது 120μ —44μ பகுதியில் ஏழு உட்கவர்தல் பெருமங்களைக் (absorption maxima) கொண்ட ஒரு தொடரினைக் கண்டார். காணப்பட்ட உட்கவர்தல் வரிகளைப் (absorption lines) பின்வரும் தொடர்பினால் குறிப்பிடலாம் எனக் காட்டினார்.

$$\bar{\nu} = 20{\cdot}84\, m - {\cdot}001814 m^3$$

இங்கு $m = 4,6,7,8,9,10,11$ என்பனவாகும். இதே போன்ற தொடர்புகளை HBr, மற்றும் HI ஆகியவைகளுக்கும் பெற்றார். சுழற்சிப் பட்டையினைச் சேர்ந்த வரிகள் ஓரளவு மாறாத அதிர்வு எண் வித்தியாசத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பது மேற்கூறிய தொடர்பிலிருந்து தெரிகிறது. m என்பது அடுத்து அடுத்து உள்ள முழு எண் மதிப்புகளைக் குறிப்பதால் விட்டுப்போன முழு எண்கள், காணப்படாத வரிகளுக்கு உரியவை என்பது தெரிகிறது. இத் தொடர்பில் m^3-ஐக் கொண்டுள்ள இரண்டாவது உறுப்பு (term) அடுத்தடுத்துள்ள வரிகளுக்கு இடையே உள்ள அதிர்வு எண் வேறுபாடு முற்றிலும் மாறாத ஒன்று அல்ல என்பதையும், அலையெண் உயர உயர அது குறைகிறது என்பதையும் காட்டுகிறது.

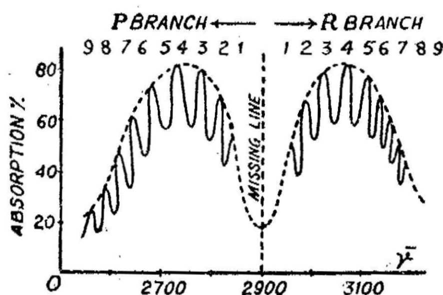
இதே பகுதியில் நீர் (water) மற்றும் அமோனியா ஆகியவைகளும் சிக்கலான உட்கவர்தல் நிறமாலையை உண்டாக்குகின்றன. சமீப காலம் வரை செய்முறையில் ஏற்பட்ட இன்னல்களால், கலப்பற்ற சுழற்சிப் பட்டைகளைக் காண்பது எளிதாக இருக்கவில்லை. ஆனால் அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட நுண்ணலை நிறமாலை அளவியினைக் (microwave spectrameter) கொண்டு இத்தகைய பட்டைகளைக் காண்பதுவும், பகுத்து ஆய்வதுவும் எளிதாயிற்று. சுவைமிக்க முடிவுகளும் பெறப்பட்டன. அண்மை அகச் சிவப்புப் பகுதியில் காணப்படும், சுழற்சி—அலைவுப் பட்டைகளும் (rotation vibration band) ஹைட்ரஜன் ஹாலைடுகளின் உட்கவர் நிறமாலை

களில்தான் காணப்பட்டிருக்கின்றன. இத்தகைய பட்டை ஒன்றின் (Hcl) பொது அமைப்புப் படம் 164-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இவ்வமைப்பு இரண்டாகக் காணப்படுகின்றது. தனித் தனி வரிகளின் பெருமச் செறிவுகளின் (maximum intensity) வழியாக வரையப்பட்ட கோடு இரு பெருமங்களைக் காட்டுகிறது. இது புள்ளிக் கோட்டால் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இதற்கு இரட்டைப் பட்டை (double band) என்று பெயர். இவ்விரு பட்டைகளுக்கும் இடையே ஓர் இடைவெளி (gap) காணப்படுகிறது. இதுதான் விடுபட்ட மைய வரி (central line) இத்தகைய மைய இடைவெளியுடன் கூடிய இரட்டைப் பட்டையின் பண்பு. இடைவெளியற்ற ஒற்றைப் பட்டையுடைய, கலப்பற்ற சுழற்சிப் பட்டை நிறமாலையிலிருந்து, சுழற்சி அலைவுப் பட்டை நிறமாலையை வேறுபடுத்திக் காட்டுகிறது.

தனித்தனி வரிகளின் பெருமங்களுக்கான அலை எண்கள் (wave numbers) பின்வரும் தொடர்பினால் நன்கு குறிக்கப்படுகின்றன.

$$\bar{\nu} = 2886{\cdot}2 + 20{\cdot}5379m - 0{\cdot}30318m^2 - 0{\cdot}001814m^3$$

இத் தொடர்பின் முதல் உறுப்பு (term) இத்தகு நிறமாலை தோன்றும் பகுதியையும் (2886 செ.மீ.$^{-1}$) — அண்மை அகச் சிவப்புப் பகுதியை — இரண்டாவது உறுப்பு வரிகளுக்கு இடையே உள்ள தோராயத் தூரத்தினையும் (20·5 செ.மீ.$^{-1}$) குறிக்கின்றன. இந் நிறமாலையில் வரிகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம், கலப்பற்ற



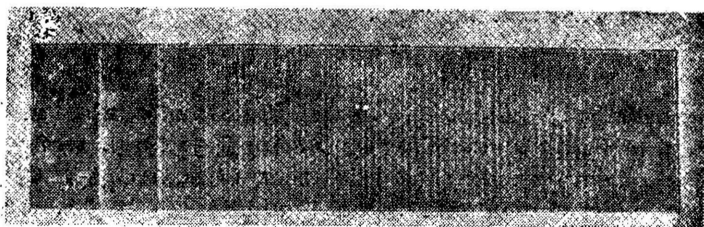
படம் 164. HCl-ன் சுழற்சி அலைவுப் பட்டை

சுழற்சி நிறமாலைகளிலுள்ள வரிகளுக்கு இடையே உள்ள தூரத்தின் அளவே இருக்கிறது. மற்ற இரு உறுப்புகளும் திருத்தந் தரும் உறுப்புகளாகும். இவை அதிர்வு இடைவெளி மாறுது இருப்

பதில்லை, என்பதையும், m-ன் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக அதிர்வு எண் இடைவெளி குறைகிறது என்பதையும் காட்டுகிறது. விடுப்பட்ட மைய வரிக்கு அப்பால் உள்ள உயர் அலை எண் (higher wave number) கொண்ட வரிகள் R என்னும் கிளைப் பகுதியையும் கீழ் அலை எண் (lower wave number) பக்கத்தில் உள்ள வரிகள் P என்னும் கிளையையும் உருவாக்குகின்றன. சுழற்சி அதிர்வு எண் பட்டைகள் ஹைட்ரஜன் ஹாலைடுகள் தவிர வேறு பொருட்களைக் கொண்டும் பெறப்படுகின்றன. ஆனால் பட்டைகளின் மையத்தில் இடைவெளியற்ற அவை மிகச் சிக்கலான அமைப்பைக் கொண்டிருக்கின்றன. Co_2-ன் உட்கவர்தல் நிறமாலை $1{\cdot}46\mu$-லிருந்து 15μ வரையிலான பகுதியிலும் நீராவியின் (steam) நிறமாலை $0{\cdot}69\mu$-லிருந்து $6{\cdot}26\mu$ வரையிலுள்ள பகுதியிலும் பல சுழற்சி அலைவுப் பட்டைகளைத் தருகின்றன. இப் பட்டைகள், நீராவியின் சுழற்சி வரிகள் ஆகிய இரண்டுமே அகச் சிவப்புப் பகுதியில் காணும் குறிப்பிடத்தக்க வளிமண்டல (atmosphere) உட்கவர்தலுக்குக் காரணமாகின்றன.

எலெக்ட்ரான் பட்டைகள் (Electron bands) :

கண்ணுக்குப் புலனாகும் பகுதியிலும், புற ஊதாப் பகுதியிலும், எலெக்ட்ரான் பட்டைகள் உமிழ்தல் நிறமாலைகளாகவும் (emission spectra) மற்றும் உட்கவர்தல் நிறமாலைகளாகவும் (absorption spectra) தோன்றுகின்றன. கார்பன் மின் முனைகளுக்கு (carbon electrodes) இடையே உண்டாக்கப்படும் வில் விளக்கு (arc) நிற



ஊதாப் பகுதியில் உள்ள சைனோஜன் பட்டைகள்

மாலையில் காணப்படும் ஊதா மற்றும் சிவப்புப் பகுதிகளில் தோன்றுகின்ற சைனோஜன் பட்டைகள் (cyanogen bands) எலெக்ட்ரான் பட்டைகளுக்கு ஏற்ற ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். ஊதாப்பகுதியில் கிராஃப் (Graff) என்பார் பெற்ற சைனோஜன் பட்டைகள் இங்குள்ள படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு முழுமையான எலெக்ட்ரான் பட்டைகளின் அமைப்பில் பல பட்டைத் தொகுதிகள்

(band groups) இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு தொகுதியிலும் பல சிறு பட்டைகள் இருக்கின்றன. இப் பட்டைகள் அவைகளின் தலை என்று கூறப்படும் அதிக அலை நீளப் பக்கத்தில் நல்ல ஒளியுடனும் குறைந்த அலை நீளப் பக்கம் செல்லச் செல்ல மங்கியும் காணப்படுகின்றன. நன்கு பிரித்துக் காட்டும் திறன் கொண்ட கருவியின் மூலம் நோக்கும்போது இச் சிறு பட்டைகளில் பல ஒழுங்கான அமைப்புடைய வரிகள் இருப்பது தெரிகிறது. அவ் வரிகள் பட்டையின் தலைப் பக்கத்தில் நெருக்கமாக இருக்கின்றன. இவ் வரிகளில் P, Q மற்றும் R என்னும் மூன்று கிளைப் பகுதிகளை வேறுபடுத்திக் காண முடிகிறது. Q என்னும் கிளைப் பகுதி பல பட்டைகளில் காணப்படுவது இல்லை. சிறு பட்டைகளுக்கு இடையே உள்ள தூரம் மூலக்கூறுகளின் அலைவு அதிர்வு எண்ணின் (vibrational frequency) அளவில் இருக்கிறது. ஆனால் பட்டையில் உள்ள வரிகளுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி சுழற்சி அதிர்வு எண்ணின் (rotational frequency) அளவில் இருக்கிறது. இப் பட்டைகள் குறித்து டெஸ்லாண்ட்ரஸ் (Deslandres) என்பவர் கண்ட செயலறி தொடர்பு (empirical relation) பின்வரும் அமைப்பினைக் கொண்டிருக்கிறது.

$$\nu = A + Bm + Cm^2$$

இங்கு ν என்பது சிறுபட்டை ஒன்றில் உள்ள வரியின் அலை எண்ணினையும் (wave number) A என்பது அப் பட்டையின் தலைப் பகுதியின் அலை எண்ணையும் குறிக்கின்றன. B மற்றும் C என்பன பட்டையின் தற்சிறப்பு காட்டும் மாறிலிகள் (charaderistic constants) $m = 1, 2, 3$ ....ஆகும்.

கொள்கை வழி விளக்கம் :

மூலக்கூறு நிறமாலைகள், அணு நிறமாலைகளை விட உண்டாக்கும் முறையும் சிக்கல் நிறைந்ததாகவே இருக்கிறது. எனினும் போரின் கொள்கையைப் (Bohr's theory) பயன்படுத்தி மேற் கூறிய மூன்று வித பட்டை அளவில் விளக்குதல் கூடும். H*cl* மற்றும் CN போன்ற ஈரணு மூலக்கூறு (diatomic molecule) ஒன்றை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். இத்தகைய மூலக்கூறில் அதன் இரு அணுக்களும் அவைகளின் அளவைவிட அதிகமான அளவுள்ள இடைத்தூரத்தில் இருக்கின்றன. இம் மூலக்கூறு இவ்வமைப்பின் புவிஈர்ப்புப்புள்ளி (centre of gravity) வழியாகச் செல்லும் அச்சு ஒன்றில் சுழல இயலும். அவ்விரு அணுக்களும் அவைகளைச் சேர்க்கும் கோட்டில் ஒன்றைப் பொறுத்து மற்றது அதிர்வு இயக்கம் கொண்டதாகவும் இருக்கலாம். இம் மூலக் கூறுகளைச் சேர்ந்த எலெக்ட்ரான்களின் வீதிவழி இயக்கத்தையும்

(Orbital motion) கணக்கில் சேர்த்துக் கொள்ளுதல் வேண்டும். மூலக்கூறுகளின் கூடுதல் ஆற்றல் மேற்கூறிய மூன்று வகையான் இயக்கங்களுக்கும் ஏற்ப மூன்று பகுதிகளாக உள்ளன. (*a*) சுழற்சி ஆற்றல் Er, (*b*) அதிர்வு ஆற்றல் Ev மற்றும் (*c*) எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் Ee என்பன ஆகும். எனவே $E = Er + Ev + Ee$ இம் மூன்று வகைப் பட்டைகளும் சேர்ந்து தோன்றுகின்ற பட்டை நிறமாலைப் பகுதியை வைத்துப் பார்க்கும் போது $Ee > Ev > Er$ என்பது தெளிவாகும்.

அணு நிறமாலையை விளக்கப் பயன் படுத்திய போரின் குவான்ட விதிகள் (Bohr's Quantum laws) மூலக்கூறு நிற மாலைக்கும் பொருந்தும் எனக் கொண்டால், மூலக்கூறு ஆற்றலின் பகுதிகள் தனித்தனியான, வரையறுக்கப்பட்ட மதிப்புகளைக் கொண்டனவாக இருத்தல் வேண்டும். அவை முறையே m_r, m_v, மற்றும் m_e என்னும் குவான்ட எண்களால் (Quantum numbers) குறிக்கப்படுகின்றன. இதில் ஏற்படும் மாறுதல்கள், அணுநிறமாலையில் r-ன் மதிப்பில் ஏற்படும் மாறுதல்களால் என்ன விளைவுகள் ஏற்படுகின்றனவோ அதே விளைவுகளைத்தான் உண்டாக்குகின்றன. மேலும் நிறமாலையைத் தருகின்ற ஆற்றல் மாற்றங்கள் போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டிற்கு (Bohr's frequency condition) உட்பட்டே நடைபெறுகின்றன.

$$h\nu = W_1 - W_2$$

சேய்மை அகச் சிவப்புப் பகுதியில் (far infra red regions) உள்ள கலப்பற்ற சுழற்சிப்பட்டைகள் மூலக் கூறுகளின் சுழற்சி யினால் உண்டாகின்றன. மேற்குறித்த வரிகளைப்பற்றிய பகுப் பாய்வுகள் பின்வரும் தொடர்பினைத் தருகின்றன.

$$\nu_r = \frac{h}{8\pi^2 I}(2m_r + 1) \quad - \quad - \quad - \quad = \quad (1)$$

இங்கு Vr என்பது சுழற்சிப்பட்டையில் உள்ள நிறமாலை வரியின் அதிர்வு எண்ணாகும். h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி யையும் I என்பது மூலக்கூறுக்கு அது சுழல்கின்ற அச்சை வைத்துக் கணக்கிடப்பட்ட சடத்துவ சுழல் திறன் (Moment of unertia) ஆகியவற்றையும் குறிக்கின்றன. $m_r = 0, 1, 2 \ldots\ldots$ போன்ற மதிப்புகளாகும்.

$\frac{h}{8\pi^2 I}$ என்னும் வரையறுக்கப்பட்ட ஒரு அளவின் முழு எண் மடங்குகளாய் அமைந்த அதிர்வு எண்களைக்கொண்ட, சமமான இடைவெளியுடன் அமைந்துள்ள வரிகளைக்

கொண்ட நிறமாலை ஒன்றினைச் சமன்பாடு (1) குறிப்பிடு கிறது. மேலும் வரிகளின் அதிர்வு எண் வேறுபாடு மாறு $\frac{h}{4\pi^2 I}$ என்னும் மதிப்பினை உடையது. இது செய்முறையில் கண்ட உண்மைகளுக்கு ஏற்ப இருக்கிறது. செயலறித்தொடர்பில் (emptrical relation) காணப்படுகின்ற திருத்தம் தரும் உறுப்பு களுக்கு, (correction terms) சுழற்சி வேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்களினால் I-ன் மதிப்பில் ஏற்படும் மாறுதல், காரணமாகக் காட்டப்படுகிறது.

அண்மை புறச் சிவப்புப் பகுதியில் (Near unfra-red) அமைந் துள்ள சுழற்சி-அலைவுப் பட்டைகள் (rotation vilration bands) மூலக்கூறுகளில் ஒரே நேரத்தில் நிகழ்கின்ற சுழற்சி மற்றும் அலைவுகளினால் உண்டாகின்றன. இந் நிகழ்ச்சியில் உள்ள கூடுதல் ஆற்றலின் ஒரு பகுதி சுழற்சி ஆற்றல் மற்றது அலைவு ஆற்றலாகும். எனவே மூலக்கூறு நிலையின் எந்த வகை மாறு தலினாலும் இவை இரண்டுமே சேர்ந்து மாறுகின்றன. அதாவது வெளிவிடப்பட்ட கதிர்வீச்சின் ஆற்றலாகிய $h\nu$-ன் ஒரு பகுதி அலைவு ஆற்றல் மாறுதலிலிருந்தும் பாக்கியுள்ள பகுதி சுழற்சி ஆற்றலின் மாறுதலினாலும் கிடைக்கின்றன.

சுழற்சி—அலைவுப்பட்டையிலுள்ள தனித்தனி வரிகளின் அதிர்வு எண்ணாகிய ν என்பது $\nu = \nu_\nu + \nu_r$ என்னும் சமன் பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. ν_ν என்பது மூலக்கூறின் அலைவினால் தரப்படும் அதிர்வு எண்ணையும், ν_r என்பது மூலக்கூறின் சுழற்சி யினால் தரப்படும் அதிர்வு எண்ணையும் குறிக்கின்றன.

$\nu_\nu = \nu_0(m_{\nu 1} - m_{\nu 2})$ என்று காட்டலாம்.

இங்கு ν_0 என்பது அடிப்படை (இயல்பு) அதிர்வு எண்ணையும் $m_{\nu 1}$ மற்றும் $m_{\nu 2}$ என்பன மாற்றம் நிகழும் இரு வேறு நிலைகளின் குவான்ட எண்களை (vibrational quantum number)யும் குறிக் கின்றன.

சமன்பாடு (1)லிருந்து ν_r-ன் மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$\nu = \nu_0 \ (m_{\nu 1} - m_{\nu 2}) + \frac{h}{8\pi^2 I}(2m_r + 1) \quad - \quad \ldots \quad (2)$$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கிறது.

$\nu_\nu = \nu_0 \ (m_{\nu 1} - m_{\nu 2})$ என்பதை எடுத்துக்கொள்வோம். $m_{\nu 1}$ மற்றும் $m_{\nu 2}$ என்பன முழு எண்கள் ஆதலால் ν_ν என்னும் அலைவு

அதிர்வு எண் (vibrational frequency) அடிப்படை அதிர்வு எண்ணின் முழு எண் மடங்காக இருக்கும் என்பதை அறிகிறோம். அடிமட்டத்தில் $(m_{v_2}=O)$ உள்ள மூலக்கூறு அதற்குமேல் நிலைக்கு $(m_{v_1}=1)$ உயர்த்தப்படுகின்ற, இயல்பான உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சியினை நோக்க $v_v=v_o$ ஆகும் என்பதை அறிகிறோம். இதிலிருந்து அலைவுப்பட்டைகளின் (vibrational bands) இடத்தை மூலக்கூறுகளின் அலைவு அதிர்வு எண் நிர்ணயிக்கிறது என்று தெரிகிறது. இந்த அலைவு அதிர்வு எண்ணின் மதிப்பு இலேசான மூலக்கூறுகளுக்கு $m_{v_2}=O \rightarrow m_{v_1}=1$ என்னும் மாற்றத்திற்கான பட்டைகள் 1000 மற்றும் 4000 செ.மீ.$^{-1}$ இவைகளுக்கு இடையே காணும்படி இருக்கும். இப் பகுதி சுழற்சி — அலைவுப்பட்டைகள் காணப்படுகின்ற அண்மை அகச் சிவப்புப் (Near infra-red) பகுதியே ஆகும்.

மூலக் கூறின் அலைவு ஆற்றல், சுழற்சி ஆற்றலைவிட அதிகமாகையால் $(Ev < Er)$ அலைவு ஆற்றலை ஆற்றலில் ஏற்படும் ஒவ்வொரு மாற்றத்திற்கும், சுழற்சி ஆற்றலில் பல சிறு மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. அதாவது mv-ல் ஏற்படும் ஒரு குறிப்பிட்ட மாற்றத்திற்கு m_r-ல் இயன்ற அத்தனை மாற்றங்களும் உண்டாகும். இதையே, குறிப்பிட்ட v_v-ன் மதிப்புக்கு m_r-ன் பல முழு எண் மதிப்புகளுக்கு ஏற்ப v_r பல தொடர்ந்த மதிப்புகளைப் பெறுகிறது என்றும் கூறலாம். எனவே சுழற்சி-அலைவுப் பட்டையில் $\frac{h}{4\pi^2 I}$ என்னும் அதிர்வு எண்ணும் இடைவெளி (frequency interval) கொண்ட சமதூரத்தில் அமைந்துள்ள தொடர்ந்த பல வரிகள் காணப்படும். இம் முடிவு செய்முறையில் கண்ட உண்மைக்கு ஏற்ப அமைந்திருக்கிறது.

கலப்பற்ற சுழற்சிப் பட்டையில் (pure rotational band) வரிகளின் இடைவெளி மாறிலியாக இல்லாதது போலவே இங்கு அதிர்வு எண் இடைவெளி (frequency interval) மாறிலியாக இல்லை. அவ்விடை வெளி, செயலறிவாய்பாடு (empirical formula) சுட்டிக் காட்டுவதுபோல m-ன் மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்கக் குறைகிறது. இதற்கான விளக்கம் பெற கலப்பற்ற சுழற்சி வரிகளில் பயன்படுத்திய அதே முறையினை — அதாவது மூலக்கூறின் நிலைமத் திருப்புத் திறனில் ஏற்படும் மாற்றங்களால் விளைகிறது என்ற அடிப்படையில் அமைந்த முறையில் —க் கையாள வேண்டும். அதிரும் மூலக் கூறின் சராசரி நிலைமத் திருப்புத் திறன் அதிராத மூலக் கூறின் நிலைமத் திருப்புத் திறனினின்றும் வேறுபடும் என்பதை எண்ணிப் பார்க்கவேண்டும். மேலும் சுழற்சியின்போது தோன்றும்

மையம் விட்டோடும் விசை அணுக்களுக்கிடையே உள்ள இணைப்பின் வலுவினை மாற்றுதல் வேண்டும். எனவே அதிர்வு மாறுபட வேண்டும். ஆகவே சுழற்சிக்கும், அலைவுக்கும் இடையே ஒரு பின்னிச் செயல்படல் நிகழ வேண்டும். உண்மையில் இதைக் கணக்கிட்டு வரிகளின் இடைவெளியில் காணப்படுகின்ற வேறுபாடுகளுக்கான காரணத்தைக் கூற இயலும்.

தொடர்பு (2)-ல் வருகின்ற இரண்டாவது உறுப்பில் $m_r = 0$ என்று பதிலீடு செய்தால்கூட இவ்வுறுப்பு மறைவதில்லை. அதன் மதிப்பு $\frac{h}{8\pi^2 I}$ என்பதற்குச் சமமாகும். எனவே ν-ன் மதிப்பை ν_v-க்கு மட்டும் சமமாக்க இயலாது. இதிலிருந்து ஒரு மூலக்கூறு அதன் சுழற்சி ஆற்றலில் மாறுதல் விளைவிக்காமல் அதிர்வு ஆற்றலில் மட்டும் மாறுதல் விளைவிக்க இயலாது என்பது தெரிகிறது. இதனால்தான் $\nu = \nu$ என்பதற்கேற்ப வருகின்ற மையவரி விடுபட்டுப் போகின்றது. m_r-ன் மதிப்பினை ஓர் அலகு உயர்த்துவதற்கான ஆற்றல் மாற்றங்கள் உயர் அதிர்வு எண் பக்கம் விரிந்து செல்லும் வரிகளின் தொகுதி ஒன்றை உருவாக்குகின்றன. - இது நேர் R கிளையாகும் (positive R branch) ஆனால் m_r-ன் மதிப்பினை ஓர் அலகு குறைப்பதற்கான ஆற்றல் மாற்றங்கள் குறைந்த அதிர்வு எண் பக்கம் விரிந்து செல்லும் மற்றொரு வரிகளின் தொகுதியை உருவாக்குகின்றன — இது எதிர் P கிளையாகும் (negative P branch). இக் கொள்கை மேற் கூறியவாறு, சுழற்சி— அலைவு நிறமாலையில் காணப்பட்ட எல்லாவற்றிற்கும் தக்க விளக்கம் தந்தது.

கண்ணுக்குப் புலனாகும் பகுதியிலும் புற ஊதாப் பகுதியிலும் உள்ள எலெக்ட்ரான் பட்டைநிறமாலைகள் (electronic band spectra) மூலக் கூறுகளின் அதிர்வுகள் மற்றும் சுழற்சிகள் ஆகியவை ஒன்றின் மீது மற்றொன்றாய் அமைந்த எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களினால் உண்டாகின்றன. இது பட்டை நிறமாலைகளுக்குள் மிகுந்த சிக்கல் நிறைந்தது என்றாலும், மற்ற இரு வகைகளையும் பற்றி விளக்கி விட்டதால் இது பற்றிய விளக்கங் கூறுவது எளிதாகி விடுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட குவான்ட நிலையில் (quantum state) ஒரு மூலக்கூறினுடைய கூடுதல் ஆற்றல், எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல், அலைவு ஆற்றல், மற்றும் சுழற்சி ஆற்றல் என்னும் மூன்று பகுதிகளாக அமைந்துள்ளது.

$h\nu = (Ee_1 + Ev_1 + Er_1) - (Ee_2 + Ev_2 + Er_2)$ என்று இருக்குமாறு அமைந்துள்ள இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே நிகழும் ஆற்றல் மாற்றங்களினால் எலெக்ட்ரான் பட்டை நிறமாலை உண்டா

கிறது. அந் நிறமாலையில் உள்ள தனித்தனி வரிகளின் அதிர்வு எண்ணாகிய v என்பது பின்வரும் சமன்பாட்டினால் தரப்படுகிறது.

$$v = \frac{Ee_1 - Ee_2}{h} + \frac{Ev_1 - Ev_2}{h} + \frac{Er_1 - Er_2}{h}$$

$$= v_e + v_v + v_r$$

இங்கு v_e என்பது எலெக்ட்ரானின் ஆற்றலில் ஏற்படுகின்ற மாறுதலால் கொடுக்கப்படும் அதிர்வு எண்ணின் அளவினையும், v_v என்பது அலைவு ஆற்றல் (vibrational energy) மாற்றத்தினால் தரப்படும் அதிர்வு எண்ணின் அளவினையும், v_r என்பது சுழற்சி ஆற்றல் மாற்றத்தினால் தரப்படும் அதிர்வு எண்ணின் அளவினையும் குறிக்கின்றன.

எலெக்ட்ரான் ஆற்றல், அலைவு ஆற்றல் மற்றும் சுழற்சி ஆற்றல் இவைகளைவிட அளவில் அதிகமாய் இருப்பதால் ($Ee > Ev > Er$) நிறமாலையின் இருப்பிடம் முக்கியமாக Ee-ல் ஏற்படும் மாற்றத்தின் அளவைக் கொண்டே நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. அணு நிறமாலையிலிருந்து இதன் இடம் கண்ணுக்குப் புலனாகும் பகுதி மற்றும் புற ஊதாப் பகுதி என்பதை நாம் அறிவோம்.

மேலும் Ee-ல் ஏற்படுகின்ற ஒவ்வொரு மாறுதலையும் தொடர்ந்து, $(mv_1 - mv_2)$ என்பதன் இயன்ற பல மதிப்புகளுக்கு ஏற்ப Ev-ல் பல மாற்றங்கள் உண்டாகும். இதனால் ஒரு தொகுதியில் பல பகுதிப் பட்டைகளும் (partial bands) ஒரு பட்டை அமைப்பில் (band system) பல தொகுதிகளும் (groups) தோன்றுகின்றன. இதனால் ஒவ்வொரு பட்டையிலும் சுழற்சி வரிகள் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு அலைவு அதிர்வு எண்ணின் மேல் கலப்பற்ற சுழற்சி நிறமாலையை மீதூரச் செய்வது போலவே, முழுமையான சுழற்சி—அலைவு நிறமாலையை எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தால் உண்டாகின்ற ஒளியியல் அதிர்வு எண்ணின் மேல் (optical frequency) மீதூரச் செய்யலாம். இது ஒரு பட்டை நிறமாலையை உண்டாக்குகிறது. ஒரு மூலக் கூறில் ஏற்படும் பல்வேறு எலெக்ட்ரான் மாற்றங்களுடன் தொடர்புடைய பட்டை அமைப்புகள் பலவின் கூட்டம் (manifold) முழுமை பெற்ற எலெக்ட்ரான் பட்டை நிறமாலையைக் குறிப்பிடுகிறது. எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (electronic configuration) கூட்டு விளைவான ஒரு கோண உந்தத்தினைப் (resultant angular momentum) பெற்றிருக்கிறது. அவ்வுந்தம் வெக்டர் முறையில் (vectorially) முழு மூலக்

கூறினுடைய சுழற்சியுடன் இணைகிறது. மேலும் சுழற்சி—அலைவுப் பட்டையில் உள்ளது போலன்றி சுழற்சி நிலையில் மாறுதல் இல்லாத போதும் அலைவு நிலையில் மாறுதல் ஏற்படுகிறது. இதிலிருந்து $m_r = 0$ என்பதற்கேற்ப நிகழும் மாற்றம் தடுக்கப்படவில்லை என்பதும் ஆகவே எலெக்ட்ரான் பட்டையில் மைய வரி விட்டுப் போகாது என்பதும் தெரிகிறது.

எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் ஏற்படும் மாற்றங்களால் சுழற்சி மற்றும் அலைவு நிலைகளில் ஏற்படும் விளைவு, சுழற்சி - அலைவுப் பட்டைகளில் அலைவுக்கும் சுழற்சிக்கும் இடையே நிகழும் பின்னிச் செயல்படலின் (interction) விளைவினைவிட அதிகம். எனவே மாற்றத்தின் ஆரம்ப நிலையிலும், இறுதி நிலையிலும், மூலக்கூறு வெவ்வேறு வலுவுடைய இணைப்பு விசை (binding force) வெவ்வேறு நிலைமைத் திருப்புத் திறனும் (moment of inertia) கொண்டிருப்பதாகக் கொள்ளுதல் வேண்டும். இவ்வுண்மை, எலெக்ட்ரான் பட்டைகளின் சுழற்சி வரிகளில் P, Q மற்றும் R என்னும் மூன்று கிளைகள் இருக்கின்றன என்னும் முடிவுக்குக் கொண்டு செல்கின்றன என்பதைக் காட்ட இயலும்.

மூலக்கூறு அமைப்பு (molecular structure) தனிமங்களின் ஐசோடோப்பு அமைப்பு (isotopic constitution) போன்ற பலவற்றின் ஆய்வுகளில் பட்டை நிறமாலை அதிக முக்கியத்துவம் பெறுவதால் அதுபற்றிய ஆராய்ச்சி இன்று பெருகி உள்ளது. செய்முறையில் கிடைத்த அளவற்ற குறிப்புகளை (deta) விளக்கும் பொருட்டுத் தொகுதிக் கொள்கை (gramp theory) சரிச் சீரமைவுக் கணக்கீடு (consideration of symmentry) போன்ற பல கணித இயல் முறைகள் பயன்படுத்தப்பட்டன.

4. இராமன் விளைவு (Raman effect)

இராமன் விளைவினை, காம்ப்டன் விளைவுக்கான ஓர் ஒளியியல் உவமையெனக் (optical analonge) கூறலாம். ஏனெனில் இதுவும் குவான்டக் கொள்கையின் அடிப்படையில் மட்டுமே விளக்கந்தரக்கூடிய ஓரினமற்றச் சிதறல் (incohevent scattering) வகையைச் சேர்ந்தது ஆகும். ஆகவே போரின் கொள்கையின் பயன்களில் இராமன் விளைவினையும் சேர்த்துக் கொள்ளுவது நியாயமான ஒன்றே ஆகும். மேலும் இராமன் விளைவு மூலக் கூறு நிறமாலையுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டிருப்பதால் இயல்பாகவே முந்தியதைப் பற்றிய ஆய்வு பிந்தியதைத் தொடர்ந்து வருகிறது.

கண்டுபிடிப்பு (Discovery)

1928-ல் சர். சி. வி. இராமன் கடலின் நீலநிறம் மற்றும் ஆகாயத்தின் நீலநிறம் போன்ற இயற்கை நிகழ்ச்சிகளை, உண்டாக்கும் நோக்கத்துடன், திரவங்களில் ஏற்படும் ஒளிச் சிதறல் பற்றி ஆய்வு நடத்திக் கொண்டிருந்தார். இதற்கு முன்பே 1871-ல் ராலே பிரபு (Lord Rayleigh) என்பார் ஆகாயத்தின் நீல நிறத்திற்கான சரியான விளக்கத்தைக் கூறி விட்டார். பூமியின் வளி மண்டலத்தில் அளவற்றுக் காணப்படுகின்ற வளியின் மூலக் கூறுகள் அல்லது அவற்றின் தொகுதிகளால் ஒளி சிதற அடிக்கப்படுவதால் நீலநிறம் உண்டாகிறதென்று அவர் கூறினர். மேலும் எந்த ஒரு ஊடகத்திலும் ஒளியின் சிதறல் எண் (coefficien of scattering) ஒளி அலை நீளத்தின் நான்காவது மடிக்கு (fourths power) எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும் என்றும் காட்டினர். அலை நீளம் குறையும் போது சிதறிய ஒளியின் செறிவு விரைவாக அதிகரிக்க வேண்டும் என்பது இதனின்றும் தெரிகிறது. எனவே சூரிய ஒளி வளி மண்டலத்தின் வழியே செல்லும்போது சிதறிய ஒளியில் உள்ள நீல நிறத்தின் செறிவு, வெண்ணொளியின் மற்ற கூறுகள் பலவற்றின் செறிவினைவிட அதிகமாய் இருக்கும். ஏனெனில் கண்ணுக்குப் புலனாகும் மற்ற பல நிறங்களைவிட, நீல நிறம் குறைவான அலை நீளங் கொண்டது. ஆகாயம் நீல நிறமாய்க் காட்சியளிப்பதற்கு இதுவே காரணமாய் அமைகிறது. ரலே சிதறல் (rayleigh scattering) எனப்படும் இத்தகைய சிதறல் ஓரினச் சிதறல் எனவும் கூறலாம். ஏனெனில் சிதறிய ஒளியின் செறிவில் மாறுதல் காணப்பட்டாலும் கூட நிறமாலைப் பண்பில் எந்தவித மாறுதலும் ஏற்படுவதில்லை. அதாவது அலை நீளத்தில் எவ்வித மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லை.



சர் சி. வி. இராமன்

ஒரு நிற ஒளிக்கற்றை (monochromatic) ஒன்று பென்சீன் (benzene) டாலுவின் (toluene) போன்ற ஆர்கானிக் திரவங்கள்

(organic liquids) மூலம் செலுத்தப்பட்டபோது சிதறிய ஒளியில் படுகதிரின் அதிர்வெண்ணுடன் கூட வேறு சில அதிர்வு எண்களும் இருப்பதை இராமன் கண்டார். இத்தகைய விளைவினை 1923 ஆம் ஆண்டிலேயே, ஸ்மீக்கல் (Smekal) என்பார் ஊகித்தார் என்றாலும் செய்முறை மூலம் இராமன்தான் இதனை முதலில் கண்டார். அவர் பயன்படுத்திய அமைப்பு எளிமையான ஒன்றாகும். உருண்டையான அடிப்பாகம் கொண்ட ஒரு கண்ணாடிக் குடுவை (R. B. flask) தூசியற்ற பென்சீன் கொண்டு நிரப்பப்பட்டது. தக்கவாறு வடிகட்டப்பட்டு, லென்சின் உதவியால் செறிவாக்கப்பட்ட, பாதரச விளக்கிலிருந்து கிடைத்த 4358A° அலை நீளங் கொண்ட ஒளியைக் கொண்டு அத் திரவம் ஒளியூட்டப்பட்டது. சிதறிய ஒளி, படுகற்றையின் திசைக்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள நிறமாலை காட்டியைக் (spectroscope) கொண்டு ஆராயப்பட்டது. சிதறிய ஒளியின் நிறமாலையில் முதன்மை வரிக்கு (main line) இரு பக்கத்திலும் பல புதிய வரிகள் காணப்பட்டன. குறைந்த அதிர்வு எண் பக்கத்தில் உள்ள வரிகள் அதிக எண்ணிக்கை கொண்டனவாகவும், உயர் அதிர்வு எண் பக்கத்தில் உள்ள வரிகளைவிட அதிக செறிவு உள்ளவையாகவும் இருந்தன. வரிகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் முதன்மை வரியினை வைத்துப் பார்க்கையில் சமச் சீரமைவு கொண்டிருந்தது. அவ் வரிகளில் பெரும்பான்மையானவை நன்கு முனை கொண்டிருந்தன (polarised). காணப்பட்ட நிறமாலை பொதுவாக இராமன் நிறமாலை (Raman spectrum) என்றும் அதிலுள்ள வரிகள் இராமன் வரிகள் (Raman lines) என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. குறைந்த அதிர்வு எண் பக்கம் உள்ள வரிகள் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் (stoke's lines) என்றும் உயர் அதிர்வு எண் பக்கமுள்ள வரிகள் மாற்று ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் (anti stoke's lines) என்றும் இன்னும் தெளிவாகக் குறிப்பிடலாம்.

முதுபழங் கொள்கை எதிர்பார்த்ததற்கு முரணான வகையில் தனித்தனியான புதிய அதிர்வு எண்களைக் கண்ட இராமன் அவ் வரிகள், ஒரு புதிய நிகழ்ச்சிக்கு உரியன என்றும், எளிய ரலேயின் சிதறல் அல்லது ஓரினச் சிதறல் என்பதிலிருந்தும், மிகவும் சிக்கலான ஸ்டோக்கின் சிதறல் அல்லது ஒளிர்வுச் சிதறல் (fluorescent scattering) என்பதிலிருந்தும் வேறுபட்டது என்றும் நிலைநாட்டினார். ரலேயின் சிதறலில் அதிர்வு எண் மாற்றங்கள் ஏற்படுவதில்லை. இருக்கின்ற அதிர்வு எண்களில் சில தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. ஆனால் இவ் விளைவில் ஒரே ஒரு அதிர்வு எண் கொண்ட (ஒரு நிற) ஒளி சிதறப்பட்டாலும் வெவ்வேறு அதிர்வு எண்களைக் கொண்ட புதிய வரிகள் தோன்றுகின்றன என்பதை இராமன் கூறினார்.

காணப்பட்ட விளைவுக்கும் ஒளிர்தலுக்கும் இடையே மேலெழுந்த வாரியாக ஓரளவு ஒற்றுமை காணப்பட்டாலுங்கூட—இரு நிகழ்ச்சிகளிலும் குறிப்பிட்ட கிளர்ச்சியூட்டும் அதிர்வு எண் (exciting frequency) பல புதிய அதிர்வு எண்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந் நிகழ்ச்சியினை ஒளிர்தல் நிகழ்ச்சியெனக் கொள்வதற்கும் இல்லை. ஏனெனில் முதலாவதாக ஒளிர்தல் நிறமாலையில் தோன்றுகின்ற புதிய அதிர்வு எண்கள் படு அதிர்வு எண்ணைவிட (incident frequency) எப்போதுமே குறைவான அதிர்வு எண்களையே (anti stoke's) பெற்றிருந்தன. இரண்டாவதாகக் கிளர்ச்சியூட்டும் வரி (exciting line) ஒளிர்தலை உண்டாக்க ஏற்றதாக இருப்பின், ஒளிர்தலினால் ஏற்பட்ட வரிகளின் (fluorescent lines) அதிர்வு எண்கள் படு அதிர்வு எண்ணுடன் உண்மையில் தொடர்பற்று இருந்தன. ஆனால் இராமன் விளைவில் படு ஒளியின் அதிர்வு எண்ணை மாற்றினால் அதே விகிதத்தில் இராமன் வரிகளும் மாறுதல் அடைந்தன. ஆகவே இராமன் வரிகளின் அதிர்வு எண்கள் படு அதிர்வ எண்ணுடன் நேர் விகிதத் தொடர்பு கொண்டிருக்கின்றன. மூன்றாவதாக ஒளிர்தல் முறையில் உண்டாகும் வரிகளின் அதிர்வு எண்கள் சிதறச் செய் பொருளின் (scatterer) தன்மையால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. ஆனால் இராமன் வரிகளின் (இவை இராமன் அதிர்வு எண்கள் என்றும் கூறப்படுகின்றன.) அதிர்வு எண் பெயர்ச்சிகள் (frequency shift) மட்டுமே சிதறச் செய் பொருளால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றனவே அல்லாமல் அதிர்வு எண்கள் நிர்ணயிக்கப்படுவதில்லை. நான்காவதாக ஒளிதல் நிறமாலையில் காணப்படும் வரிகளைப் போலல்லாது இராமன் வரிகள் நன்கு முனை கொண்டிருந்தன. (polarised) இறுதியாக இராமன் அதிர்வு எண்கள் சிதறச்செய் பொருளின் உட்கவர் நிறமாலையின் (absorption) உள்ள அகச் சிவப்பு அதிர்வு எண்களாகவோ அல்லது அத்தகைய அதிர்வு எண்களின் வித்தியாசமாகவோ இருந்தது. ஒளிர்வு சிதறல் முறையில் (fluorescent scatterin) இவ்வாறு நிகழ்வதில்லை. இது இராமன் விளைவு ஒரு புது விளைவு என நிலை நாட்டுவதற்கு உறுதுணையாய் நின்ற ஓர் உண்மையாகும். மேலும் காணப்பட்ட நிகழ்ச்சி ஒரு மூலக்கூறு விளைவு என்றும் இவ்வுண்மை மெய்ப்பித்தது. எனவே சிதறல் முறை காணப்பட்ட மாற்றமுற்ற அதிர்வு எண்கள் ஒரு புது வகையான இரண்டாம் நிலை கதிர்வீச்சாகும். இதற்கு இராமன் விளைவு (Raman effect) என்று பெயரிடப்பட்டது. 1930 ஆம் ஆண்டில் இவ் விளைவுக்காக நோபிள் பரிசு (Nobel Prize) அளிக்கப்பட்டு, விஞ்ஞான உலகினால் இராமன் சிறப்புச் செய்யப்பட்டார்.

ஏறக்குறைய, இராமன் இவ் விளைவினைக் கண்ட அதே நேரத்தில் ருரஷ்யாவில் லாண்ஸ்பர்க் (Landsberg) மற்றும் மெண்டல்ஸ்டாம் (Mendelstam) ஆகியோர் சில படிகங்களால் சிதறப் பட்ட ஒளியை ஆராய்ந்து, திண் பொருள்களில் இவ் விளைவினைக் கண்டனர். விரைவில் பல திரவங்கள், ஆவிகள், வாயுக்கள் மற்றும் ஊடுருவு திண் பொருள்கள் ஆகியவை இவ் விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன என்பது கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இவ்வாறு இது ஒரு பொதுவான நிகழ்ச்சி என்பது உறுதியாயிற்று.

செய்முறை ஆய்வு

இராமன் விளைவு பல ஆராய்ச்சியாளர்களால் விரிவாக ஆராயப்பட்டது ஆய்வுக்கான பொருளை, செறிவுமிக்க ஒரு நிற ஒளியைக் கொண்டு ஒளியூட்டச் செய்வதும், சிதறிய கதிர் வீச்சினை படுகதிரின் திசைக்குக் குறுக்காக வைக்கப்பட்டுள்ள நிறமாலை வரைவியின் (spectro graph) உதவியால் ஒளிப்படம் எடுப்பதுமே இவ்வராய்ச்சியில் பயன்படுத்திய பொதுவான முறையாகும். ஆனால் எடுத்துக் கொண்ட பொருளின் திட, திரவ, வாயு நிலைகளுக்கு ஏற்ப தொழில் நுட்ப விபரங்கள் மாறுபடும். இந் நுட்பங்களின் முக்கியமான நோக்கம் விரைவில் நல்ல விளைவுகளைப் பெறுவதே ஆகும்.

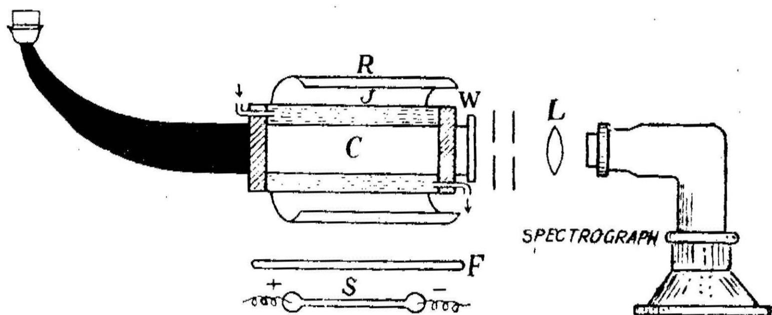
கருவி :

இராமன் முதலில் பயன்படுத்திய எளிய அமைப்பு அதிக செயல்திறன் (efficiency) கொண்டது அல்ல. அதற்கு மிக அதிகமான பதிவு நேரம் தேவைப்பட்டது. நல்ல முறையில் இராமன் நிறமாலைப் பதிவு ஒன்றினை எடுக்க 100 மணி நேரமும், ஏன் அதற்கு அதிகமாகவும் கூட தேவைப்பட்டது ஆகவே பொருளை வைப்பதற்கான கொள்கலம் (container), ஒளியின் தோற்றுவாய் (source), வடிகட்டி (filter) நிறமாலை வரைவி போன்றவை செம்மை செய்யப்பட்டன.

படம் 165-ல் காட்டியுள்ள கருவி முதலில் வுட் (wood) என்பவரால் உருவாக்கப்பட்டது. இது இப்போது சாதாரணமாகத் திரவங்களில் இராமன் விளைவினை ஆராய்வதற்குப் பயன் படுத்தப் படுகிறது.

ஆய்வுக்கான திரவத்தை வைப்பதற்கான C என்னும் கொள் கலம் இராமன் குழாய் (Raman tube) எனப்படுகிறது இது ஒன்று அல்லது இரண்டு செ. மீட்டர் விட்டமும் 10 செ.மீ. முதல் 15 செ.மீ. நீளமும் கொண்டது. அதன் ஒரு முனை கொம்பு வடிவில்

(horn shaped) உருவாக்கப்பட்டு, தக்க பின்னணி கொடுப்பதற்கு ஏற்றவாறு வெளிப்பக்கம் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. மற்ற முனை ஒளியளவில் சமதளமான (optically plane) கண்ணாடித் தட்டால் மூடப்பட்டுள்ளது. இது சிதறிய ஒளி வெளிவருவதற்கான புழையாகப் (window) பயன்படுகிறது. கொள்கலன் ஒரு நீர்க்கூட்டால் (water facket) சூழப்பட்டிருக்கிறது. கிளர்ச்சியூட்டும் ஒளியைத் தருவதற்காக அருகில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் வில் விளக்கின் சூட்டினால் இராமன் குழாயில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் திரவம் அதிக சூடேருமல் தடுக்கும் பொருட்டு நீர்க் கூட்டில் தண்ணீர் சுற்றிச் சுழன்று வருமாறு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. ஹீலியம் மின்னிழப்புக் குழாயிலிருந்து வரும் ஒளி, நிக்கல் ஆக்சைடு (nickel oxide) கண்ணாடியினால் வடிகட்டப்பட்டு, 3888 A° அலை நீளத்தை மட்டும் கொண்ட ஒரு நிற ஒளி ஆக்கப்படுகிறது. இது ஒரு இலட்சியத் தோற்றுவாய் (ideal source) ஆகும். ஆனால் இதை அமைப்பதிலும், இயக்குவதிலும் உள்ள நுணுக்கத் தொல்லைகள் (techinical difficuities) காரணமாக இது



படம் 165. இராமன் விளைவினை ஆய்வதற்கான கருவி.

அதிகமாகப் பயன்படுத்தப் படுவது இல்லை. சாதாரணமாகப் பாதரச வில் விளக்கு (Mercury are lamp) தோற்றுவாயாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது இப்போதுள்ள தோற்றுவாய்களுள் ஹீலியம் மின்னிழப்புக் குழாய்க்கு அடுத்தபடியான, நல்லதொரு தோற்றுவாயாகும். தக்க வடிகட்டிகளைக் கொண்டு இதிலிருந்து ஒரே ஒரு அலை நீளத்தைக் கொண்ட ஒரு நிற ஒளியை மட்டும் அடைய முடியும். எடுத்துக்காட்டாக 4358 A° அலை நீளங் கொண்ட ஒளியை மட்டும் பெற, சிறிது அமிலம் சேர்க்கப்பட்ட குனைன் சல்ஃபேட் கரைசல் (acidulated quinie sulphate solution) நிரப்பப்பட்ட ஒரு புதுவித கண்ணாடிக்கலம் (vessel) வடிகட்டியாகப்

பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது 4358 A° கொண்ட வரியினைத் தவிர மற்றவைகளை நீக்கிவிடுகிறது. கார்பன் டெட்ரா குளோரைடில் அயோடினைக் கரைத்துப் பெற்ற கரைசல் அடங்கிய கண்ணாடிக் கலம் 4046 A° கொண்ட ஒளியை மட்டும் பெறுவதற்கு ஏற்ற ஒரு வடிகட்டியெனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது. வடிகட்டும் திரவத்தை வில் விளக்கின் முன் பக்கத்திலோ அல்லது இராமன் குழாயைச் சூழ்ந்திருக்குமாறோ வைக்கலாம். பாதரச வில் விளக்கு இராமன் குழாய்க்கு எவ்வளவு அருகில் இருக்கலாமோ அவ்வளவு அருகில் வைக்கப்படுகிறது. எனவே படுகதிர் மிக்க செறிவுள்ளதாகிறது. அரை உருளை வடிவு (semi-cylindrical) கொண்ட R என்னும் அலுமினிய ஆடி (miror) ஒளியூட்டத்தின் (illumination) செறிவினை மேலும் அதிகமாக்குகிறது.

இராமன் நிறமாலையை ஆய்வதற்கேற்ற நிறமாலை வரைவியின் முக்கிய பண்புகளாவன : (1) அதிக ஒளியைத் திரட்டும் திறன், (2) அதிக வேறுபடுத்திக் காட்டும் திறன் கொண்ட தனிவகை முப்பட்டகம் (special prism) மற்றும் (3) குறுகிய குவியங் கொண்ட ஒளிப்படப் பெட்டி. W என்னும் புழைக்கு எதிரில் உள்ள L என்னும் லென்ஸ், சிதறிய கதிர்வீச்சினை நிறமாலை வரைவியின் பிளவு (slit) நோக்கிச் செலுத்துகிறது. இப் பிளவு இராமன் குழாயின் அச்சுடன் பொருந்துமாறு கவனமாக வைக்கப்பட்டிருக் கிறது. மேலும் நேராக வில் விளக்கிலிருந்து வருகின்ற கதிர்கள் பிளவின்மேல் விழாது தடுக்கப்பட்டுள்ளன. CCl_4 போன்ற திரவத்தின் செறிவுமிக்க இராமன் வரிகளை, சிறிய நிறமாலை வரை வியைக் கொண்டு ஒரு மணி கால அளவில் படமெடுத்து விடலாம். ஆனால் முழு நிறமாலையையும் அடைய வேண்டுமானால், படு கற்றையின் செறிவு, நிறமாலை வரைவியின் விரைவாகப் பதிக்கும் தன்மை, இராமன் வரிகளின் உள்ளார்ந்த ஒளி (intrisic brilliance) இவைகளைப் பொறுத்து 10 முதல் 15 மணி நேரங்கூட ஆகும். கீற்றணிகள் (gratings) போன்ற அதிக திறன் கொண்ட கருவி களைப் பயனுறும் வகையில் பயன்படுத்தப்படவில்லை. ஏனெனில் அவைகளின் குறைந்த ஒளிப் பிறக்கம் காரணமாகப் பதிவு நேரம் அதிகமாகிவிடுகிறது.

திண் பொருள்கள் மற்றும் வாயுக்களில் இராமன் விளைவினைத் தோற்றுவிக்க இக் கருவியில் சில மாறுதல்கள் செய்ய வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. ஒளி ஊடுருவிச் செல்லக்கூடிய, பெருங் கட்டிகளாகக் கிடைக்கின்ற ஜிப்சம், குவார்ட்ஸ் (quartz) போன்ற திண் பொருள்களுக்குக் கொள் கலன் தேவையில்லை. வில் விளக்கி லிருந்து வரும் ஒளியை ஒரு பெரிய செறிவாக்கும் லென்சைக்

(condensing lens) கொண்டு பொருளின் மேல் விழுமாறு செய்ய லாம். உதிரிப் படிகத்தூள் (loose crystal powder) உருவில் உள்ள திண்பொருள்களுக்குப் பேயர் மற்றும் மென்சீஸ் (Baer and menzies) காட்டியவாறு. படிகத் தளங்களிலிருந்து ஒளியைப் பிரதிபலிக்கச் செய்து இராமன் விளைவினைத் தோற்றுவிக்கலாம். ஆனால் படிக முகப்புகளில் திரும்பத் திரும்ப ஏற்படும் பிரதிபலிப்புகளால் அதிக அளவு நேர் ஒளி (direct light) கொள்கலத்தைவிட்டு நிறமாலை வரைவியினுள் நுழைந்து மறைக்கும் விளைவு (masking effect) உண்டாக்குவதைத் தடுப்பதில் அதிக கவனம் செலுத்த வேண்டும். இதை அடைய இரு நுணுக்கங்கள் கையாளப்பட்டன. ஒன்று இராமன் ஆய்வுக் கூடத்தில் (Raman laboratory) அனந்த கிருஷ்ணன் என்பவர் உண்டாக்கியது போன்ற நிரப்பு வண்ண வடிகட்டி (complementary filters) ஒன்றைப் பயன்படுத்துவது. மற்றது தனிவகையில் அமைந்த ஒரு நிறமாலை வரைவி. இதில் இரு பகுதிகள் உண்டு. ஒவ்வொரு பகுதியிலும் ஒரு முப்பட்டகமும் (prism) இரண்டு லென்சுகளும் உள்ளன. இவ் விரு பகுதிகளுக்கும் பொதுவான ஒரு பிளவு (slit) இருக்கிறது. இது பில்ராத் (Bilroth), கோல்ராஷ் (Kolhransch) மற்றும் ரிட்ஸ் (Ritz) ஆகியோரால் ஜெர்மனியில் உருவாக்கப்பட்டது. இவை இரண்டுமே படிகத் தூளைக் கொண்டு செய்யும் செய்முறைகளில் நல்ல முடிவுகளைத் தருகின்றன. மேலும் பிந்தியதில் சிறிதளவு பொருளைக் கொண்டுங் கூட சிறந்த முடிவுகளைப் பெறக் கூடும்.

வாயுக்களால் சிதறப்பட்ட ஒளி, பொதுவாக மங்கலாகவே இருக்கிறது. வாயுவை அதிக அழுத்தத்திற்குட்படுத்திச் செறி வாக ஒளியூட்டுவதன் மூலமும், ஒளி திரட்டும் திறன் (light-gathering power) அதிகமுடைய நிறமாலை வரைவியைப் பயன் படுத்துவதின் மூலமும் மேற்கூறி இடைஞ்சலை நீக்கிவிடலாம். வுட் என்பார் HCl அடைக்கப்பட்ட நீண்ட குழாய் ஒன்றைப் பயன்படுத்தி வளிமண்டல அழுத்தத்தில் (atmospheric pressure) இராமன் வரிகளைப் பெற்றார். அவர் தனியான முறையில் தயாரிக் கப்பட்ட பாதரச வில் விளக்கினைப் பயன்படுத்தினார். அவ் விளக்கு வாயுக் குழாயை ஒட்டினாற் போல் வைக்கப்பட்டிருந்தது. உள்ளீ டற்ற உருளை வடிவ ஆடிகள் வாயுக் குழாயையும், வில் விளக் கினையும் சூழ்ந்திருந்தன. வில் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளி முன்னும் பின்னுமாக ஆடிச் சுவர்களுக்கிடையே பல முறைகள் பிரதி பலிக்கப்படுவதால் ஒளியூட்டம் (illumination) செறிவு மிக்க ஒன்றா கிறது. வாயுக்களில் உயர்ந்த அழுத்தங்களில் இராமன் விளைவினை உண்டாக்குவதற்கான நுணுக்கங்களை முதலில் விரிவுபடுத்தியவர் ராசெட்டி (Rasetti) என்பவராவார். இம் முறை பதிவு நேரத்தை

மிகவும் குறைத்தது. அவர் 20 செ.மீ. நீளமும் 2·2 செ.மீ. விட்டமும் கொண்ட, கனமான சுவர்களை உடைய குவார்ட்ஸ் (quartzs) குழாய் ஒன்றைப் பயன்படுத்தினார். அக் குழாய் 10 முதல் 15 வளி மண்டல அழுத்தம் வரைத் தாங்கும் திறன் கொண்டது. பாதரச வில் விளக்கில் உள்ள 2537 A° ஒளியைக் கொண்டு, அழுத்தத்திற்குள்ளான பல வாயுக்களில் இராமன் விளைவினை அவர் பெற்றார் வாயுக்களுக்குப் பயன்படுத்தும் நோக்கத்தில் பகவந்தம் என்பார், 50 வளிமண்டல அழுத்தம் வரைத் தாங்கக்கூடிய ஒரு இராமன் குழாயினை உருவாக்கினார். அது ஒளி புகும் சிலிக்காவினால் செய்யப்பட்டு எஃகுக் குழாய் ஒன்றினுள் பாதுகாப்பிற்காக வைக்கப்பட்டிருந்தது. இந்த அமைப்பில், பாதரச வில் விளக்கிலிருந்து பெற்ற 3650, 4046, 4358A° அலைநீளங் கொண்ட வரிகளைப் பயன்படுத்தி, 40 அல்லது 50 மணி நேரப் பதிவிற்குப் பின்னர் வாயுக்களுக்குரிய நேர்த்தியான, இராமன் நிறமாலைப் படங்களைப் (spectro graphs) பெற்றார்.

விளை பயன்கள் (Results) :

'ஆர்கானிக் திரவம்' (organic liquid) மற்றும் 'இன் ஆர்கானிக் திரவம்' (inorganic liquid) ஆகிய பல திரவங்களிலும், பல வாயுக்



பல்வேறு பொருட்களில் இராமன் நிற மாலைகள் (பகவந்தம்)

களிலும் ஆவிகளிலும், படிக உரு கொண்ட திண் பொருள்களிலும் இராமன் விளைவு ஏற்படுவது காணப்பட்டு ஆராய்ச்சிகள் செய்

யப்பட்டன. பென்சீன், கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு (திரவங்கள், அசிட்டலீன் (வாயு), கால்சைட் மற்றும் வைரம் (திண் பொருள்கள்) ஆகியவைகளைக் கொண்டு பகவந்தம் என்பவர் பெற்ற ஒளிப்படங்களைக் கூர்ந்து நோக்கி, திண் பொருள்கள், திரவப் பொருள்கள் மற்றும் வாயுப் பொருட்கள் இவை தருகின்ற இராமன் நிறமாலைகளின் அமைப்புப் பற்றிய கருத்தினை ஓரளவு புரிந்து கொள்ளலாம்.

கிளர்ச்சியூட்டும் கதிர்வீச்சின் இரு பக்கத்திலும், வெவ்வேறு செறிவும் நேர்த்தியான அமைப்பும் கொண்ட பல புதிய வரிகளும், பட்டைகளும் காணப்படுகின்றன. படு நிறமாலையில் (incident spectrum) உள்ள ஒவ்வொரு வரியும், போதுமான செறிவு கொண்டதாக இருந்தால் அவை ஒவ்வொன்றும் அவற்றிற்குரிய வரிகள் அல்லது பட்டைகளின் தொகுதியை உண்டாக்குகின்றன. இத்தகைய ஒளிப்பட பதிவுகளை ஆய்ந்து கண்ட முக்கியமான விளைபயன்களை மட்டும் இங்கு ஒரு கோடியிட்டுக் காட்டுவோம்.

திரவங்களில இராமன் விளைவு :

இதுவரை ஆராயப்பட்டுள்ள, ஏறக்குறைய 100 திரவங்கள் இராமன் விளைவினைப் பிழையறக் காட்டுகின்றன. பென்சீன் கொண்டு பெறப்பட்ட இராமன் வரிகளின் பெயர்ச்சி shift) $3 \cdot 27 \mu$ என்னும் புறச் சிவப்பு அலை நீளத்திற்கு ஏற்ப இருக்கிறது. இப் பகுதியில், பென்சீன் அதன் உட்கவர் நிறமாலையில் (absorption spectrum) செறிவு மிக்க பட்டை ஒன்றைத் தோற்றுவிக்கிறது. எனினும், பென்சீன் புறச் சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையினைக் (infra-red absorption spectrum of benzene) கூர்ந்து நோக்க அதில் இராமன் வரிகள் ஏதும் காணப்படுவதில்லை. CCl_4-ஐக் கொண்டு பெற்ற நிறமாலையில் கிளர்ச்சியூட்டும் 4858 வரியின் இரு பக்கத்திலும் சமதூரத்தில் அமைந்துள்ள ஸ்டோக்ஸ் முவ்வரிகளும் (triads), மாற்று ஸ்டோக்ஸ் மூவ்வரிகளும் (auti stokes) கவர்ச்சி மிக்க தோற்றமளிக்கின்றன. நன்கு தூய்மைப் படுத்தப்பட்ட நீருக்கு (water) $\lambda = 3 \mu$ என்னுமிடத்தில் இரு கூரிய வரிகளுக்குப் (sharp lines) பதிலாக அகலமான இரு பட்டைகள் கிடைக்கின்றன. உப்புக்களை நீரில் கரைத்துப் பெறப்பட்ட கரைசல்கள், அவ்வுப்பு மற்றும் நீரின் தற்சிறப்புப் பண்புகளைக் காட்டுகின்ற இராமன் நிறமாலைகளைத் தருகின்றன.

வாயுக்களில் இராமன் விளைவு :

HCl, CO, CO_2, NO, N_2O, CS_2 ஹைட்ரஜன். ஆக்சிஜன், அமோனியா போன்ற பல வாயுக்கள் ஆராயப்பட்டன. HCl-க்கு

ஏற்பட்ட இராமன் வரியின் அதிர்வு எண் பெயர்ச்சி (frequency shift) $3 \cdot 46\mu$-க்கு ஏற்ப இருந்தது. இது ஏறக்குறைய HCl-ன் அகச் சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையில் விடுபட்டுப் போன (missing) மைய வரியே ஆகும். CO தருகின்ற இராமன் வரியின் அதிர்வு எண் பெயர்ச்சி அதன் அகச் சிவப்புப் பட்டையின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாக இருக்கிறது. ஆனால் CO_2 தருகின்ற இராமன் வரியின் அதிர்வு எண் பெயர்ச்சி அதன் இரு அகச் சிவப்புப் பட்டைகளின் அதிர்வு எண் வித்தியாசத்திற்குச் சமமாக இருக்கிறது. ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன், மற்றும் நைட்ரஜன் ஆகிய வாயுக்கள் சம இடை வெளியுடன் அமைந்த வரிகளைத் தருகின்றன. ஹைட்ரஜன் மற்றும் நைட்ரஜன் நிறமாலை களில் ஒன்றுவிட்டு ஒரு வரி செறிவாகக் காணப்படுகிறது. ஆனால் ஆக்சிஜன் நிறமாலையில் ஒன்றுவிட்டு ஒரு வரி காணப்பட வில்லை. ஒன்றுவிட்டு ஒரு வரியின் செறிவில் காணப்பட்ட சிறப்பு இயல்புகள் அவ் வாயுக்களின் மூலக்கூறு அமைப்பு மற்றும் அணுக் கரு அமைப்பு இவைபற்றிய குறிப்பிடத்தக்க முடிவுகளைப் பெற உதவின.

திண் பொருள்களில் இராமன் விளைவு :

படிகங்களைக் கொண்டு பெறப்படும் இராமன் வரிகள் தெளி வாக இருக்கின்றன. வெப்ப நிலை ஏற ஏற அவை தெளிவற்றுப் போகின்றன. கால்சைட் படிகத்தில் (Ca, Co_3) கிளர்ச்சியூட்டும் வரியின் வெகு அருகில் தோற்றமளிக்கும் இரு வரிகளும் படிக அணுக் கோவையின் (crystal lattice) அலைவுகளைச் சேர்ந்தவை என்று இனங் காணப்பட்டுள்ளன. வைரம், மிக அதிகமான அதிர்வு எண் பெயர்ச்சி கொண்ட செறிவு மிக்க கூரிய வரி ஒன்றைத் தோற்றுவிக்கிறது. அவ்வரி படிக அணுக்கோவை யினால் ஏற்படுவதாகக் கொள்ளுதல் வேண்டும்.

இராமன் வரிகளின் செறிவு :

ஒரு இராமன் வரியின் செறிவினை அதன் தாய் வரிச் (parent line) செறிவின் சார்பலனாகக் (function) கூறினால், திரவங்களுக்குச் சில நூறு பாகங்களில் ஒரு பாகமாகவும், வாயுக்களுக்குச் சில ஆயிரம் பாகங்களில் ஒரு பாகமாகவும், இருப்பதைக் காண்கிறோம். இராமன் வரிகளின் செறிவினை அளப்பதில் நடைமுறை இன்னல்கள் இருந்தன என்றாலும்கூட, அடிப்படை முக்கியத் துவம் வாய்ந்த பல முடிவுகள் பெறப்பட்டன. ஒவ்வொரு வரி யாகப் பார்த்துக் கொண்டே செல்லும் போதும், ஒவ்வொரு பொரு ளாக ஆராய்ந்து கொண்டே போகும் போதும் அவைகளின்

செறிவில் காணப்படும் மாற்றங்கள் பொருட்களின் மூலக்கூறு அமைப்பு மற்றும் இரசாயன அமைப்பு இவைகளை அறிவதில் பெரும் பங்கு கொள்ளுகின்றன. ஸ்டோக் வரிகள் அவைகளை ஒத்த மாற்று ஸ்டோக் வரிகளைவிட அதிக செறிவுள்ளவைகளாக இருக்கின்றன. எனினும் வெப்ப நிலை ஏறினால் இவைகளின் செறிவு அதிகமாகிறது. வெப்ப நிலை ஏறும்போது எல்லா இராமன் வரிகளும் தாய்வரியினை நோக்கி நகருகின்றன.

இராமன் வரிகளின் முனை கொள்ளல் (Polarisation) :

இராமன் வரிகள் செறிவினால் வேறுபட்டு நிற்பதைப் போலவே முனை கொள்ளல் நிலையிலும் (state of polarisation) வேறுபட்டு நிற்கின்றன. வெவ்வேறு வரிகள் வெவ்வேறு அளவில் முனை கொண்டிருக்கின்றன என்னும் உண்மை அவைகளின் ஒப்புச் செறிவுடன் தொடர்புடைய ஒன்றாக இருக்கக்கூடும். இராமன் வரிகளின் முனை கொள்ளல் தன்மையைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுத்தும் செய்முறை அமைப்புப் பக்கம்......ல் விவரிக்கப் பட்டுள்ளதையே போன்று ஆனால் பின்வரும் சில மாற்றங்களுடன் அமைந்துள்ளது. தோற்றுவாயிலிருந்து வரும் ஒளி செறிவாக்கியின் (condenser) உதவியினால் இராமன் குழாயினுள் வைக்கப்பட்டுள்ள பொருளின் மேல் நன்கு படும்படி செய்யப்படுகிறது. சிதறிய ஒளியில் உள்ள நெடுக்கைக் கூறு (vertical component) மற்றும் கிடக்கைக் கூறு (horizantal component) ஆகியவற்றைப் பிரிக்கின்றன, தக்கவாறு அமைக்கப்பட்டுள்ள இரட்டைப் படிமப் பிரிசம், (double inage prism) பிளவில் (slit) ஒன்றின் மேலே மற்றொன்றாக இரு படிமங்களைத் தருமாறு நிறமாலை வரைவியின் பிளவுக்கு முன்னால் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மேற்கூறிய இரு படிமங்களும் (images) ஒரே நேரத்தில் படமெடுக்கப்படுகின்றன.

இராமன் வரி ஒன்றின் முனை நிலையினை (state of polarisation) முனைவு நீக்க எண் (depolarisation factor) என்னும் ஓர் அளவினைக் கொண்டு அறிகிறோம். முனை நீக்கல் எண் என்பது படு ஒளி செங்குத்தாக முனைவு கொள்ளும் போது (vertically polarised) அதன் கிடைக்கக் கூறின் (horizantal component) செறிவுக்கும், நெடுக்கைக் கூறின் செறிவுக்கும் உள்ள விகிதமே ஆகும். மேற்கூறிய முறையில் படமாக்கப்பட்ட சுவடுகளில் (traces) இருந்து ஒரே அலை நீளமுடைய இரு கற்றைகளின் செறிவினை ஒப்பிடுவதற்கு வழக்கமாகப் பயன்படுத்தும் ஒரு முறையைக் கொண்டு இவ் விகிதத்தை எளிதில் காணலாம். முனை நீக்கல் எண்ணின் திட்பமான மதிப்புகளைப் பெறுவதில் பின்வரும் எச்சரிக்கைகளை மேற் கொள்ளுதல் வேண்டும்.

(1) படிகத்தன்மை கொண்ட குவார்ட்சை (quartz) செறிவாக்கியிலோ, நிறமாலை வரைவிகளிலோ அல்லது புழைகளிலோ (windows) பயன்படுத்துதல் கூடாது. ஏனெனில் அவைகளில் ஏற்படும் ஒளியியல்வினை (optical activity) முனைவு கொள்ளல் நிகழ்ச்சியினைச் சிக்கலுள்ளதாக்கிவிடுகிறது. (2) இராமன் குழாயில் அமைந்துள்ள, சிதறிய கதிர்கள் வெளிவருவதற்காக உள்ள புழை (window) மாசற்று, சமதளமுள்ளதாக இருக்க வேண்டும். (3) சாய்வு ஒளி விலகலினாலும் (oblique refraction). படுகதிர் குறுக்காகச் செல்லாமை மற்றும் பிளவின் அகலம் இவைகளினாலும் ஏற்படும் பிழைகள் தவிர்க்கப்படுதல் வேண்டும்.

கேபன்னஸ் (Cabannes) என்பார் குவார்ட்ஸ் போன்ற படிகங்களினால் உண்டாகும் இராமன் வரிகள் வெவ்வேறு அளவில் முனைவு கொள்ளுகின்றன என்றும் அவ் வரிகளின் செறிவும் முனைவு நீக்கலும் (depolarisation) படிகத்தின் அமைப்பினைச் சார்ந்திருக்கின்றன என்றும் கண்டார். மென்சீஸ் (Menzies) என்பார் CCl_4 போன்ற திரவங்களில் தோன்றும் இராமன் வரிகளின் முனை கொள்ளல் தன்மையைப் படுகற்றையின் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையிலிருந்தும் முன்பக்கம் சாய்ந்த திசையிலிருந்தும் ஆராய்ந்தார். மேலும் சம்பந்தப்பட்ட மூலக் கூறில் ஆரம்ப, இறுதி அதிர்வுகளின் திசைகள், முனைவு கொண்ட வரிகளில் இணையாகவும், முனைவு கொள்ளா வரிகளில் குத்தாகவும், ஓரளவு முனைவு கொண்ட வரிகளில் சாய்ந்த கோணங்களிலும் இருக்கின்றன என்று கொள்வதன் மூலமாகவே காணப்பட்ட உண்மைகளுக்கான விளக்கம் தர இயலும் என்பதைக் காட்டினார். பின் வருபவை சில முக்கியமான வினை பயன்களாகும் :

(a) அலைவு இராமன் வரிகளுக்கு (vibrational Raman lines) முனை நீக்கல் எண் 0-ல் இருந்து 0·86 வரை மாறுபடுகிறது. ஆனால் சுழற்சி இராமன் வரிகளுக்கு (rotational Raman lines) முனை நீக்கல் எண் 0·86 என்ற மாறாத மதிப்பினைப் பெற்றிருக்கிறது.

(b) வட்ட வகையில் முனைவு கொள்ளலுற்ற (circularly polarised) படு ஒளியைக் கொண்டு ஆய்வு நடத்தியதில் இராமன் வரியின் ஒரு பகுதி எதிர்த் திசையில் வட்டவகை முனைவு கொள்ளலுற்றும் இன்னொரு பகுதி படு ஒளியின் திசையிலேயே வட்ட வகை முனை கொள்ளலுற்றும் இருந்தன. மிக அதிகமாக முனை நீக்கம் செய்யப்பட்ட சுழற்சி வரிகள் (rotational lines) எதிர்த் திசையில் வட்ட வகையில் முனை கொள்ளுகின்றன.

(c) கூரிய செறிவுள்ள வரிகள் பொதுவாகக் குறைந்த முனை நீக்க எண் கொண்டனவாகவும் கலக்கமான. மங்கிய வரிகள் அதிக முனை நீக்க எண் கொண்டும் இருக்கின்றன.

(d) இராமன் வரிகளின் முனை கொள்ளல், அலைவுகளின் சமச் சீரமைவினல் (symmetry of oscillations) தீர்மானிக்கப்படுகிறது. ஆகவே ஒரே வகையான அமைப்புக் கொண்ட மூலக் கூறுகள் தருகின்ற வரிகளில் ஒத்த வரிகள் (corresponding lines) ஏறக் குறைய ஒரே முனை நீக்க எண் கொண்டுள்ளன.

இராமன் விளைவின் இயல்பு :

பல்வேறு செய்முறைக் குறிப்புகளிலிருந்து இராமன் விளைவு ஒரு மூலக்கூறு நிகழ்ச்சி (molecular phemomenon) என்பது தெளி வாகிறது. வாயுக்களில் இருப்பது போல கட்டுப்பாடற்ற நிலையில் உள்ள மூலக்கூறுகளில் (free molecules) வெவ்வேறு வகையான மூன்று இராமன் விளைவுகளைக் காணலாம். அவையாவன சுழற்சி விளைவு அலைவு விளைவு மற்றும் எலெக்ட்ரான் விளைவு என்பன வாகும். சில சூழ்நிலைகளில் சுழற்சி-அலைவு விளைவும் (rotation-vbrational) நடை பெறுவது உண்டு. திண் பொருள்கள் இன்னொரு வகை விளைவினையும் ஏற்படுத்தும். அதில் படிக அணுக் கோவை முழுமையாக மூலக்கூறின் இடத்தைப் பிடித்துக் கொள்ளு கிறது. நடுத்தர அல்லது அதிக அதிர்வு எண் பெயர்ச்சி (fequency shift) காணப்படும் இராமன் வரிகளும், பட்டைகளும் அலைவு விளைவினல் ஏற்படுவன ஆகும். ஏனெனில் கலப்பற்ற சுழற்சி இராமன் வரிகள் தாய் வரிக்கு மிக அருகில் இருக்கின்றன. பெரும்பாலும் அவ் வரிகள்—சில இலேசான வாயுக்கள் நீங்கலாகப் பெரும்பாலான பொருள்களில்—தாய் வரியில் மறைந்து போய் விடுகின்றன. அலைவு இராமன் வரிகள் (vibrational Raman line) மூலக்கூறு அல்லது படிக அணுக் கோவையின் (crystal lattice) இயல்பான, பல்வகை அதிர்வு நிலைகளால் (modes of vibration) உண்டாகின்றன. படிக அணுக் கோவையின் அதிர்வினல் தோன்றும் வரிகள் திண் நிலையின் தற்சிறப்புகளைக் காட்டுவன ஆகும். அவ் வரிகள், திரவம் மற்றும் வாயு நிலைகளில் காணப்படு வதில்லை. எலெக்ட்ரான் விளைவினல் உண்டாகும் இராமன் வரிகள் மிக அரிதாகவே காணப்படுகின்றன. இத்தகைய விளைவு ராசெட்டி என்பவரால் No-வில் மட்டுமே கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

சுழற்சி இராமன் நிறமாலையும், அலைவு இராமன் நிறமாலையும், முறையே மூலக்கூறுகளின் சேய்மை அகச் சிவப்பு உட்கவர்தல்

நிறமாலையிணையும் (far infra-red absorption spectrum), அண்மை புறச் சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையிணையும் மிகவும் ஒத்திருக்கின்றன. மேலும் இராமன் அதிர்வு எண்கள் சிதறச் செய்யும் பொருளின் உட்கவர் நிறமாலையின் அகச் சிவப்பு அதிர்வு எண்களுக்குச் சமமாகவோ அல்லது அத்தகைய அதிர்வு எண்களின் வித்தியாசத்திற்குச் சமமாகவோ இருக்கின்றன. ஆனால் இராமன் வரிகளின் ஒப்புச் செறிவுக்கும் அவற்றோடியைந்த அகச் சிவப்புப் பட்டைகளின் செறிவுகளுக்குமிடையே எவ்வித தொடர்புமில்லை. மேலும் எல்லா இராமன் வரிகளுடனும் இயைந்து உடன்படும் அகச் சிவப்பு வரிகளோ அல்லது எல்லா அகச் சிவப்பு வரிகளுடனும் இயைந்துடன்படும் இராமன் வரிகளோ இல்லை. எனவே மூலக் கூறினைப் பொறுத்த வரை இராமன் நிறமாலை மற்றும் பட்டை நிறமாலை இவை இரண்டிலும் இறுதி முடிவு ஒன்றாக இருப்பினும் இவ்விரு முறைகளிலும் நிறமாலைகளைத் தோற்றுவிக்கும் வகைகளும் பங்கு கொள்ளும் விதிகளும் வேறுபடுகின்றன என்று தோன்றுகிறது.

கொள்கை வழி விளக்கம் :

1923-ல் குவான்டக் கொள்கையின் அடிப்படையில் பேராசிரியர் ஸ்மீகல் (Prof. Smekal) என்பவர் கூறிய எளிய நிறைவு தரும் விளக்கம் இராமன் விளைவின் முக்கியமான இயல்புகளுக்குக் காரணம் தருகிறது. குவான்டக் கொள்கையின்படி ν_0 என்னும் அதிர்வு எண் கொண்ட ஒரு நிற ஒளிக்கற்றையின் (monochromatic beam) ஆற்றல் $h\nu_0$ அளவுள்ள ஆற்றல் முடிச்சுகளாகப் பங்கிடப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு அமைந்த ஓர் ஆற்றல் முடிச்சு அல்லது ஃபோட்டான், சிதறச் செய் பொருளின் மூலக்கூறு ஒன்றைத் தாக்கினால் மூன்று நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறக்கூடும். அம் மூலக்கூறு ஃபோட்டானின் ஆற்றலை உட்கவராமல் அதனை விலகிச் செல்லுமாறு மட்டும் செய்யலாம். இதனால் சிதறிய கற்றையில் மாறுதல் உறாத வரி (unmodified line) தோன்றும். மாறாக மூலக்கூறு, தாக்கிய ஃபோட்டானின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை உட்கவரக்கூடும். இதனால் மாறுதலடைந்த ஸ்டோக் வரிகள் தோன்றும். இவ் வரிகளின் அதிர்வு எண் நிச்சயமாகப் படுகதிரின் அதிர்வு எண்ணைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். மூலக்கூறு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் இருப்பதால் அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலின் ஒரு பகுதியைத் தாக்கிய ஃபோட்டானுக்கு அளிக்கக்கூடும். இதனால் படுகதிர் வீச்சின் அதிர்வு எண்ணைவிட அதிக அதிர்வு எண் கொண்ட மாற்று ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் (anti stoke's lines) தோன்றும். இராமன் சிதறல் உண்டாகும் வகையினை ப் பகுப்பாராய்ச்சி முறையில் பின்வருமாறு கூறலாம் :

இந் நிகழ்ச்சியினை மூலக்கூறு ஒன்றுக்கும் ஃபோட்டான் ஒன்றுக்குமிடையில் நிகழும் மோதலாகப் பாவித்து ஆற்றல் அழியா விதியினைப் (conservation of energy) பயன்படுத்தி,

$$Ep + \frac{1}{2}mv^2 + h\nu_0 = Eq + \frac{1}{2}mv'^2 + h\nu' \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்று எழுதலாம். இங்கு Ep மற்று Eq என்பன முறையே மோதலுக்கு முன்னும் பின்னும் மூலக் கூறுக்கு உள்ள ஆற்றலின் அளவினையும், m என்பது மூலக் கூறின் பொருண்மையினையும், v மற்றும் v' என்பன முறையே மோதலுக்கு முன்னும் பின்னும் மூலக் கூறுக்கு உள்ள வேகத்தினையும், ν_0 மற்றும் ν' என்பன முறையே படு ஃபோட்டானின் (incident photon) அதிர்வு எண்ணையும், சிறிய ஃபோட்டானின் (scattered photon) அதிர்வு எண்ணையும் குறிக்கின்றன.

இம் மோதலினால் கணிசமான வெப்ப நிலை மாறுதல் ஏற்படுவதில்லை. ஆதலால், இந் நிகழ்ச்சியில் மூலக் கூறின் இயக்க ஆற்றல் மாறுவதில்லை எனக் கொள்ளலாம். எனவே மேற் கூறிய தொடர்பினை,

$Ep + h\nu_0 = Eq + h\nu'$ என்று எழுதலாம்.

$$\therefore \quad h(\nu' - \nu_0) = Ep - Eq$$

அல்லது
$$\nu' = \nu_0 + \frac{Ep - Eq}{h} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$
ஆகும்

இச் சமன் பாட்டில் $Ep = Eq$ என்றால் $\nu = \nu_0$ ஆகும். இது மாறுதலில்லாத வரி (unmodified line) எவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது

$Ep < Eq$ என்றால் $\nu' < \nu_0$ ஆகும்.

இது ஸ்டோக் வரி உண்டாகும் என்பதைக் குறிப்பிடுகிறது.

$Ep > Eq$ என்றால் $\nu' > \nu_0$ ஆகும்.

இது மாற்று ஸ்டோக் வரி உண்டாவதைக் காட்டுகிறது.

இந் நிகழ்ச்சியில் பங்கு கொள்ளும் மூலக் கூறினை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். அணுக்கள் மற்றும் மூலக் கூறுகள் இவைகளில் ஆற்றலை முடிச்சுகளாக வைத்துக் கொள்ளும் தன்மை காணப்படு

வதால், மூலக்கூறுகளில் ஏற்பாடும் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் மாற்றங்களுக்கு ஆற்றல் முடிச்சுக் கோட்பாட்டினைப் பயன்படுத்தி,

$$Ep - Eq = nh\nu_m \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

என எழுதலாம். இதில் $n = 1, 2, 3, \ldots$ ஆகும். ν_m என்பது மூலக் கூறின் தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்ணைக் (charecteristic frequency) குறிக்கிறது. எனவே சமன்பாடு (2)-ல் $n = 1$ ஆகும்போது

$$\nu' = \nu_0 \pm \nu_m \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

என்றாகும். இச் சமன்பாடு இராமன் விளைவில் படுவரிக்கும் (incident line). சிதறப்பட்ட வரிக்கும் (scattered line) உள்ள அதிர்வு எண் வேறுபாடாகிய $(\nu_0 - \nu')$ என்பது மூலக்கூறின் தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்ணாகிய ν_m-க்குச் சமமாகும் என்பதைக் காட்டுகிறது. இது இராமன் வரிகள் தாய் வரியின் (parent line) இரு பக்கத்திலும் மூலக் கூறின் தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்ணுக்கு—ஆகவே சிதறச் செய் பொருளின் அகச் சிவப்பு உட்கவர்தல் வரிக்கு—ஒத்திசைந்த இடைவெளியுடன், சரிச் சீரமைவு கொண்டதாக அமைந்திருக்கின்றன என செய் முறையில் கண்ட உண்மைக்குக் காரணம் காட்டுகிறது.

இராமன் விளைவின் நடைமுறைப் பயன்கள் :

குவாண்டக் கொள்கையை நிலை நாட்டும் ஒன்றென இதற்கு வழங்கப்பட்டுள்ள, கொள்கையளவினதாகிய முக்கியத்துவத்திற்கும் மேலாக, இராமன் விளைவு பௌதிகத் துறையிலும், இரசாயனத் துறையிலும் பல வழிகளில் பயன்படுவதால் நடைமுறையளவிலும் முக்கியத்துவம் பெற்று விளங்குகிறது. இந் நிகழ்ச்சியின் உலகளாவிய தன்மை (universal nature) செய்முறை நுணுக்கத்தின் எளிமை, இவ் விளைவினை எளிதாகக் கட்டுப்படுத்தக்கூடிய முறை, புலனாகும் நிறமாலையின் விரும்பும் ஒரு பகுதியில் இதைத் தோன்றச் செய்வதற்கான நிலை (இராமன் நிறமாலை தோன்றும் இடம் நாம் தேர்ந்தெடுக்கும் படு அதிர்வு எண்ணைப் பொறுத்திருக்கிறது) மேலும் இராமன் நிறமாலை, அகச் சிவப்பு நிறமாலையுடன் இணைந்து முழுமை பெறுகின்ற தன்மை, ஆகியவை இராமன் விளைவினைப் பருப் பொருளின் கட்டமைப்பு (structure of matter) அதிலும் குறிப்பாகத் திண், திரவ, வாயுப் பொருட்களில் உள்ள மூலக் கூறுகளின் அமைப்பு முதலியவற்றின் ஆராய்ச்சிகளுக்கு ஏற்ற, எளிய, வலுவுள்ள ஒரு கருவியாக ஆக்குகின்றன.

எடுத்துக் காட்டி விளங்க வைக்கும் முறையில் இந்த இராமன் விளைவு எவ்வாறு மூலக்கூறின் கட்டமைப்பினை அறிந்து கொள்ளப் பயன்படுகிறது என்பதைச் சுருக்கமாகக் கூறுவோம்.

இராமன் விளைவும் மூலக்கூறு அமைப்பும் :

பொதுவாக அலைவு இயல்புகளை அதிகமாகப் பாதிக்கும் காரணக் கூறுகளான, மூலக் கூறிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை, பொருண்மை, அணுக்களுக்கிடையே நிலவும் இரசாயனத் தளைகள் (chemical bonds) ஆகியவைகளால் இராமன் நிறமாலைகளின் அமைப்பு அறுதியிடப்படுகிறது.

இரட்டை அணுக்களைக் கொண்ட மூலக்கூறு ஒன்றை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். அதன் இயல்பான அதிர்வு எண், $v_0 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ என்பதால் பெறப்படுகிறது. இங்கு F என்பது ஓர் அலகு தூர இடப் பெயர்ச்சிக்கு உள்ள மீட்பு விசையின் (restoring force) அளவாகும் μ என்பது மூலக்கூறின் பொருண்மையாகும். இதிலிருந்து (1) இரட்டை அணு மூலக்கூறுகளுக்கு ஒரே ஒரு அதிர்வு எண்தான் உண்டு. (2) இலேசான அணுக்களைக் கொண்ட மூலக்கூறு கனமான அணுக்களைக் கொண்ட மூலக்கூறினைவிட, அதிக அதிர்வு எண் கொண்டிருக்க வேண்டும். (3) அணுக்களைப் பிணைக்கும் விடை (binding force) அதிகமாயுள்ள மூலக்கூறு குறைந்த விசையைக் கொண்ட மூலக் கூறினைவிட அதிக தற் சிறப்பு அதிர்வு எண் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்னும் உண்மைகள் பெறப்படுகின்றன. பிணைக்கும் விசை அணுக்களுக்கு இடையே உள்ள தளைகளின் (bonds) தன்மையையும், வலு வினையும் பொறுத்திருக்கிறது. இவ்வாருக இரட்டைத் தளை கொண்ட இரட்டை அணு மூலக்கூறு, ஒற்றைத் தளையுடைய மூலக்கூறினைவிட அதிக அதிர்வு எண் பெற்றிருக்க வேண்டும். பகிர்ந்திணையுர் (covalent) வகையைச் சேர்ந்த தளையாக (bond) இருப்பின் (ஓரின மின் முனைப்பு கொண்ட அல்லது மின் முனைப் பற்ற மூலக் கூறுகள் —(polar or hetropolar molicules) இராமன் வரிகள் மிக்க செறிவுடன் இருக்க வேண்டும் தந்திணையும் (electro valent வகையைச் சேர்ந்த தளை (bond) ஆயின் (முனைப்புடைய அல்லது ஓரினமற்ற மின் முனைப்புள்ள மூலக் கூறுகள்) இராமன் வரிகளின் செறிவு குறைவாக இருக்க வேண்டும். இராமன் வரிகள், முக்கியமாக மூலக் கூறுகளின் சரிச்சீரமைவு மற்றும் அலைவுகளால்

பாதிக்கப்படும் முனைவாக்க அளவு (polarisability) இவைகளைப் பொறுத்திருக்கிறது என்ற உண்மையைக் கொண்டுதான் மேற் கூறியதற்கான காரணத்தைக் காண வேண்டும். பகிர்ந்திணையும் மூலக்கூறுகளில் (co-valent molecules) பிணைக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் (binding electrons) இரு அணுக்களுக்கும் பொதுவாக இருக்கின்றன. எனவே அணுக் கரு அலைவுகளால் முனைவாக்க அளவு (polarisability) கணிசமான அளவு மாறுதலடைகிறது. முனையாக்க அளவில் ஏற்படும் இம் மாறுதல்கள் இராமன் வரிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. தந்திணையும் மூலக்கூறுகளில் (electron valent molecules) பிணைக்கும் எலெக்ட்ரான்கள், மூலக் கூறு உருவாகும்போது ஓர் அணுவை விட்டு, மற்றொரு அணுவுக்கு இடம் மாறிச் செல்கின்றன. எனவே அணுக் கரு அலைவுகளால் மூலக் கூறின் முனையாக்க அளவு பாதிக்கப்படுவதில்லை. இதனால் இராமன் வரிகள் தோன்றுவதில்லை.

இரண்டிற்கு மேற்பட்ட அணுக்களைக் கொண்ட பல் அணு மூலக் கூறுகளை (poly atomic molecules) எடுத்துக் கொள்ளுவோம். இயல்பாகவே இத்தகைய மூலக்கூறுகளில் இராமன் நிறமாலை சிக்கல் மிகுந்ததாகவே இருக்கும். முதலாவதாக இம் மூலக் கூறுகள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்களைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக மூவணு மூலக் கூறுகள் (tri atomic molecules) பொதுவாக மூன்று தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்களைக் (characteristic frequencies) கொண்டிருக்கும். இரண்டாவதாகச் சரிச்சீரமைவுள்ள அல்லது சமச்சீரமைவு அற்ற ஒருபடிச் சீரமைவு (linear symmetry) அல்லது ஒரு படியில்லாச் சீரமைவு (non-linear symmetry) போன்ற அணுக்களின் அமைப்பு இராமன் வரிகளின் செறிவினை அறுதியிடும் மற்றொரு காரணக் கூறாகும். எனவே இராமன் விளைவில் காணும் கோடுகளின் எண்ணிக்கை மற்றும் செறிவு இவைகளை அகச் சிவப்புப் பற்றிய குறிப்புகளுடன் இணைத்து மூலக்கூறு அமைப்புப் பற்றிய முடிவு களைப் பெறுதல் கூடும். இது பற்றிய கொள்கையிலிருந்து பின் வரும் முக்கியமான விதி பிறந்தது. இது ஒன்றை ஒன்று விலக்கும் விதி எனப்படும். சரிச்சீரமைவு மையங் கொண்ட மூலக் கூறு களுக்கு அகச் சிவப்பில் அனுமதிக்கப்படும் இடமாற்றங்கள் (transitions) இராமன் நிறமாலையில் தடுக்கப்படுகின்றன. இவ் வாறே இராமன் நிறமாலையில் அனுமதிக்கப்படும் இடமாற்றங்கள் அகச் சிவப்பு நிறமாலையில் தடுக்கப்படுகின்றன. சரிச்சீரமைவு மையமற்ற மூலக் கூறுகளுக்கு அகச் சிவப்பு மற்றும் இராமன் விளைவு ஆகிய இரண்டிலும் இடமாற்றங்கள் நிகழக்கூடும், என்று இவ் விதி குறிப்பாகச் சுட்டிக் காட்டுகிறது என்றாலும்

ஒன்றில் தடுக்கப்பட்ட எல்லா இடமாற்றங்களும் மற்றதில் ஏற்பட்டே தீர வேண்டும் என்று குறிப்பிடப்படவில்லை. ஏனெனில் சில மாற்றங்கள் இரண்டிலுமே தடுக்கப்படலாம்.

பின் வரும் எடுத்துக்காட்டுகள் இக் குறிப்புகளை விளக்க உதவும்.

இரட்டை அணு மூலக் கூறுகள் (Diatomic molecules) :

ஆயப்பட்ட இரட்டை அணு மூலக் கூறுகளில் H_2, D_2, N_2. O_2, HCl, HBr மற்றும் HI என்பன சிலவாகும். முதல் நான்கும் ஓரின அணுக்கரு மூலக் கூறுகளாகும் (homo nuclear molecules) அதாவது ஒரே மாதிரியான அணுக்களால் ஆகிய மூலக் கூறுகள். இறுதியில் கூறப்பட்டுள்ள மூன்றும் ஓரினமற்ற அணுக்கருக்களைக் கொண்ட மூலக் கூறுகள் (hetro nuclear molecules) அதாவது வெவ்வேறு அணுக்களால் ஆகிய மூலக்கூறுகளாகும். இவை எல்லாவற்றிற்கும் ஒரே ஒரு தற்சிறப்பு அதிர்வு எண்தான் உண்டு. இராமன் நிறமாலையிலிருந்து பெற்ற அந்தத் தற்சிறப்பு எண்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. $\nu_0 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ என்னும் தொடர்பினைக் கொண்டு அவை ஒவ்வொன்றிற்கும் ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சி தருவதற்குத் தேவையான மீட்பு விசையும் கணக்கிடப்பட்டு அதே அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

	H_2	D_2	N_2	O_2	HCl	HBr	HI
ν_0 செ.மீ.$^{-1}$	4156	2993	2331	1556	2880	2558	2233
$F \times 10^{-5}$	5·1	5·3	22·4	11·4	4 8	3·8	2·9

இந்த அட்டவணையிலிருந்து பின் வருபவை தெளிவாகத் தெரிகின்றன. (1) மூலக்கூறின் எடை அதிகமாக அதிகமாக அதிர்வு எண் குறைகிறது. (2) பிணைப்பு வலுவின் (binding strength) அளவினைக் காட்டுவதாக உள்ள F ஐ 3 : 2 : 1 என்னும் விகிதத்தில் தோராயமாக வகைப்படுத்தலாம். இதிலிருந்து மூலக்கூறின் அணுக்களிடையே முத்தளை, இரட்டைத் தளை மற்றும் ஒற்றைத் தளை என்னும் வெவ்வேறு வகையான மூன்று தளைகள் இருக்கின்றன என்று கூறலாம்.

மூன்றணு மூலக்கூறுகள் : (Triatomic molecule)

பகுத்தாயப்பட்ட மூன்று அணு மூலக்கூறுகள் பலவற்றுள் Co_2, N_2o மற்றும் H_2o என்னும் மூன்று மூலக்கூறுகளைமட்டும் எடுத்துக்கொண்டு மூலக்கூறு அமைப்பின் சுவைமிக்க சில கருத்துகளை மட்டும் விளக்குவோம்.

பலமுறை நன்கு ஆயப்பட்ட மூலக்கூறுகளில் காபன்-டை ஆக்சைடு (Co_2) ஒன்று, அதற்கு அகச் சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையில் 668 மற்றும் 2349 செ.மீ.$^{-1}$ல் இரு செறிவுள்ள பட்டைகள் உண்டு. ஆனால் இராமன் நிறமாலையில் 1389 செ மீ$^{-1}$ல் ஒரே ஒரு செறிவான பட்டை (Strong band) மட்டுமே உண்டு. இவைகளில் எதுவும் இரு நிறமாலைகளிலும் காணப் படுவதில்லை. ஆதலால் ஒன்றை ஒன்று விலக்கும் விதிக்கும் ஏற்ப Co_2ன் மூலக்கூறு சமச்சீரமைவு மையம் உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்று தெரிகிறது. மூன்றணு மூலக்கூறுகள் நேர்க்கோட்டுச் சமச்சீரமைவு கொண்டிருக்க வேண்டுமென்பதை இது குறிப்பிடுகிறது. எனவே Co_2ன் மூலக்கூறு அமைப்பு O—C—O என்றவாறு இருக்கும். இத்தகைய சரிச்சீரமைவு Co_2ன் சுழற்சி இராமன் நிறமாலையினால் உறுதிப்படுத்தப்படு கிறது. அந் நிறமாலையில் O_2க்கு இருப்பது போல ஒன்றுவிட்டு ஒன்றான (ஒற்றைப்படை) நிலைகளே இருக்கின்றன மேலே குறிப்பிட்ட மூன்று பட்டைகளும்—அகச் சிவப்பு நிறமாலையில் இரண்டு, இராமன் நிறமாலையில் ஒன்று – Co_2 மூன்று அடிப்படை அதிர்வுகளைக் (fundamental frequencies) குறிக்கின்றன. கார்பன் -டை சல்பைடும் (CS_2) இதே வகையைச் சேர்ந்ததாகும்.

நைட்ரஸ் ஆக்ஸைடு (N_2O) :

இந்த மூலக்கூறு, CO_2ல் எத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் இருக் கின்றனவோ, அத்தனை எலெக்ட்ரான்களைத்தான் பெற்றிருக்கிறது. எனவே இது நேர்க்கோட்டுச் சரிச்சீரமைவு கொண்டிருக்கும் என நினைக்கக்கூடும். ஆனால் N_2Oன் புறச்சிவப்பு நிறமாலை மற்றும் இராமன் நிறமாலை ஆய்வுகள் இம் மூலக்கூறு நேர்க்கோட்டமைப்பு கொண்டது என்றாலும் சரிச்சீரமைவு கொண்டது அல்ல என் பதைத் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன. 2224, 1285 மற்றும் 589 செ.மீ.$^{-1}$ என்பன N_2Oன் அடிப்படை அதிர்வு எண்கள் ஆகும். இம் மூன்று அதிர்வு எண்களும் புறச்சிவப்பு நிறமாலையில் காணப்படுகின்றன. 2224 மற்றும் 1285 ஆகியவை இராமன் நிறமாலையில் காணப்படுகின்றன எனினும் 589 அதன் குறைந்த செறிவின் காரணமாக இராமன் நிறமாலையில் பதிவு செய்ய

படவில்லை. எவ்வாறாயினும் அவ்விரு இராமன் வரிகளும் அகச் வசிப்பு நிறமாலையிலும் காணப்படுகின்றன. இதிலிருந்து சமச் சீரமைவு மையம் இருக்க முடியாது என்பது தெரிகிறது. ஏனெனில் அதில் சமச்சீரமைவு மையம் ஒன்று இருந்தால் ஒரே ஒரு அடிப்படை அதிர்வுமட்டுமே தோன்றுதல் வேண்டும். ஒன்றை ஒன்று விலக்கும் விதிக்கு ஏற்ப (Mutual exclusion law) இந்த அடிப்படை அதிர்வு அகச் சிவப்பு நிறமாலையில் தோன்றுதல் கூடாது. எனவே மூலக்கூறு N—N—O என்னும் சமச்சீரமை வில்லாத அமைப்பினைக் கொண்டிருக்கிறது. இம் முடிவினை N_2O வைக் கொண்டு எடுக்கப்பட்ட சுழற்சி இராமன் நிறமாலையில், காணப்பட்ட செறிவு வேறுபாடில்லாத இருவகை (ஒற்றைப்படை மற்றும் இரட்டைப்படை—odd and even -) வரிகளின் தொகுதி உறுதிப்படுத்தியது. இதே போன்ற அமைப்பினைக் கொண்ட மற்ற மூலக்கூறுகள் HCN, ClCN, BrCN, ICN என்பன ஆகும்.

நீர் (H_2O) :

நீரின், செறிவுமிக்க, கலப்பற்ற சுழற்சி நிறமாலை (Purerotational Spectrum)யின் தோற்றம் மற்றும் அதன் அமைப்பு, சுழற்சி அலைவு நிறமாலையின் (rotational-Vilrational Spectrum) தோற்றம் மற்றும் அதன் அமைப்பு ஆகியவைகள் H_2O-ன் அமைப்புச் சரிச்சீரமைவு உடையது என்றாலும் நேர்க்கோட்டமைப்பு உள்ளது அல்ல – வளைவு அமைப்புக் கொண்டது (bent) – என்பதைத் தெளிவாகக் காட்டின (படம் 166). கொள்கைப்படி, வளைந்த சரிச் சீரமைவு (bent symmetry) கொண்ட மூன்றணு மூலக்கூறுகள் எல்லாம் அகச் சிவப்பு நிறமாலையில் காணப்படும் மூன்று வரிகளை யும் இராமன் நிறமாலையிலும் தர வேண்டும். அகச் சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையில் 1595 மற்றும் 3756 செ.மீ.$^{-1}$ல் செறிவு மிக்க இரு பட்டைகள் காணப்படு கின்றன. இவை அடிப்படை அதிர்வெண்களாகிய மூன்றினுள் இரண்டாகும். இந்த வளைவு



படம் 166.

அமைப்பில் உள்ள கோணம் 120° என்று காட்டுவதற்குப் போதுமான ஆதாரம் இருக்கிறது. இராமன் நிறமாலையில் 1665 மற்றும் 3605 செ.மீ.$^{-1}$ கொண்ட இரு அதிர்வு எண்கள் பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளன. அவை ஏறக்குறைய அகச் சிவப்பு நிற மாலையில் தோன்றும் அதிர்வு எண்களுக்குச் சமமாய் இருக்கின் றன. H_2O-ன் இராமன் வரிகள் மிகவும் மங்கலாக இருப்பதால் அவைகளைப் பதிவு செய்வதில் சில இடையூறுகள் இருக்கின்றன.

இலேசான ஹைட்ரஜன் அசைவுகள் (movements) மற்றும் முனை வாக்க அளவு டென்சார் (Polarisability tensor) ஆகியவை கணிசமான மாறுதல்களை உண்டாக்குவது இல்லை. ஆதலால் அவ் வரிகள் மங்கலாக இருக்கின்றன. நீர் (water) தேவைக்கு அதிக மான சில பட்டைகளையும் தருகிறது. அவைகள் மீச்சேர்திறன் கொண்ட மூலக்கூறுகளுக்கு (Polymerised molecules) உரியன என்று கொள்ளுதல் வேண்டும். $(H_2O)_2$, $(H_2O)_3$, D_2O, S_2O மற்றும் H_2S ஆகியவை ஒரே வகையான வளைந்த சரிச்சீரமைவு அமைப்பினைக் கொண்டிருக்கின்றன

இவ்வாறு பல்வேறு பொருள்களின் இராமன் நிறமாலைகள் பற்றிய அறிவு பொருள்களை அவைகளின் மூலக்கூறு அமைப்பு களுக்கு ஏற்ப வரிசைப்படுத்த வழிவகுக்கிறது.

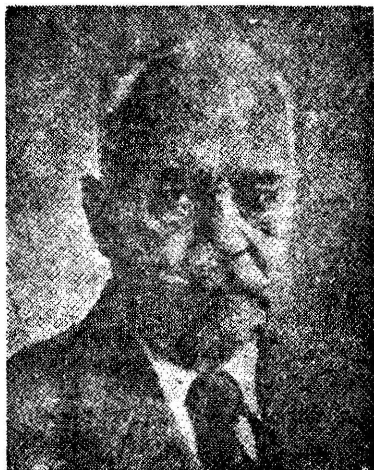
சாமர்ஃபீல்டின் சார்பியல் அணுமாதிரி (Sommerfeld's Relativistie atom model) :

போர்கூறிய எளிய வட்ட வீதிக் கொள்கை பல வெற்றிகளை அடைந்தது என்றாலும் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையில் கண்ட சில விபரங்களுக்கு விளக்கம் தரும் திறன் இல்லாது இருந்தது. தனித்தனி நிறமாலை வரிகள் உண்மையில் ஒற்றை வரிகள் அல்ல என்பதும் அவை ஒவ்வொன்றிலும் பல மெல்லிய வரிகள் உள் ளன என்பதும் அதிகப் பிரித்துக்காட்டும் திறன் கொண்ட கருவிகளைக் கொண்டு நோக்கியபோது புலனாயிற்று. இத்தகைய மெல்லிய வரிகள் நுண் அமைப்பு (fine structure) எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாகப் பாமர் தொடரில் (Balmer's scries) உள்ள H_α வரி பல மெல்லிய வரிகளை உள்ளடக்கியிருப்பது தெரிந்தது. ஒவ்வொரு வரையறை எண்ணுக்கும் (Quantium number) ஒரே ஒரு வீதி மட்டுத்தான் உண்டு என்று கூறுகின்ற போரின் கொள் கையை வைத்து, நிறமாலை வரிகளின் நுண் அமைப்பினை (fine structure) விளக்குதல் இயலாது. ஒரு குறிப்பிட்ட வரையறை எண்ணுக்கு, சிறிய அளவில் வேறுபடுகின்ற ஆற்றலுடைய பல வீதிகள் இருக்கக்கூடும் என்னும் எண்ணத்தை நிறமாலை வரி களின் நுண்ணமைப்பு ஏற்படுத்தியது.

1915ஆம் ஆண்டில், மேற்கூறிய எண்ணத்தின் வயப்பட்ட சாமர்ஃபீல்ட் என்பார், மேலும் கிடைத்த பல செய்முறைக் குறிப்புகளுக்கும் (நுண்ணமைப்புகளுக்கு) பொருந்தும் வகையில், எலெக்ட்ரான்கள் நீள் வட்ட வீதியில் (elliptical orbits) இயங்கு கின்றன என்று கூறி அதன் வழியே நிகழும் எலெக்ட்ரானின் *சார்பியல் பொருண்மை மாற்றத்தையும் புகுத்திப் போரின்

கொள்கையை மாற்றி அமைத்தார். இவ்வாறு செம்மை செய்யப் போரின் அணுவுக்குச் சார்பியல் அணுமாதிரி (relativistic atom model) என்று பெயர். இதன் முக்கிய சிறப்புகளைப் பின்வருவது போலச் சுருக்கமாகக் கூறலாம்.

ஒரு கோள் கதிரவனைச் சுற்றி வருவதைப் போல, எலெக்ட்ரான் அதைவிட பொருண்மை மிக்க அணுக்கருவின் ஆற்றலுக்கு உட்பட்டு அதனைச் சுற்றி வருவதால், போர் கூறிய வட்ட வீதிகளுடன் கூட அது நீள்வட்ட வீதிவழியாகவும் செல்லக் கூடும் என அவர் எடுத்துக் கூறினார். ஆற்றல் முடிச்சுக் கோட்பாடுகளுக்கு ஏற்ப நீள் வட்ட வீதிக்கொள்கையை உருவாக்கும் போது, முதலாவதாகப் போரின் கொள்கையில் பயன்படுத்தப்படும் n என்னும் ஒரே ஒரு வரையறை எண்ணுக்குப் பதிலாக n_r மற்றும் n_φ என்னும் இரு புதிய குவான்ட எண்களை (quantum numbers) பயன்படுத்துதல் வேண்டும் என அவர் கண்டார். அவ்விரு எண்களும் சேர்ந்து n-க்குச் சமம் ஆகும். அதாவது $n = n_r + n_\varphi$. n_r என்பது ஆரவழி உந்தத்தினை (radial momentum) கூறுபடுத்தியதால் உண்டான ஆரநிலை குவான்ட எண் (radial quantum number) ஆகும். n_φ என்பது கோணநிலை உந்தத்தினை (angular momentum) கோணநிலை அல்லது முகட்டுவட்டை குவான்ட எண் (angular or azimuthal quantum number) எனப்படும். அடுத்துக் குறிப்பிட்ட மதிப்புள்ள கூடுதல் குவான்ட எண் (n)க்கு ஒரே ஒரு வட்ட வீதி இருப்பதற்குப் பதிலாக n_φ என்பதால் நிர்ணயிக்கப்படும் சில ஓரை வட்ட வீதிகளும் இருக்கலாம் எனக் காட்டினார். வட்டம் என்பது $n_\varphi = n$ என ஆகும்போது ஏற்படுகின்ற நீள் வட்டத்தின் ஒரு நிலையே ஆகும்.


படம் சாமர்ஃபீல்ட்

நீள் வட்டப் பாதையில் நகரும் எலெக்ட்ரானின் வேகம் அப்பாதையின் வெவ்வேறு பாகங்களில் கணிசமான அளவு வேறுபடுவதால் வேகத்தைப் பொறுத்து மாறும் பொருண்மைபற்றிய

சார்பியல் விதியை எலெக்ட்ரானுக்குப் பயன்படுத்தி எலெக்ட்ரானின் பாதை முடிவற்ற நீள்வட்டமல்ல என்றும் சிக்கல் மிகுந்த ரோசெட்டி எனப்படும் இரட்டைமடக்கு நிலை கொண்ட சுழலும் ஓரைவட்ட அமைப்பு (rotating ellipse, doubly perodic) ஆகும் என்றும் எடுத்துக்காட்டினார். அதாவது ஓரைவட்டப் பாதையில் எலெக்ட்ரான் சென்று கொண்டிருக்கையில், நெட்டச்சு (Major axis) ஓரைவட்டத்தின் குவியத்தில் உள்ள அணுக்கருவைச் சுற்றி நீள்வட்ட தளத்தில் (plane of the ellipse) மாருத வேகத்தோடு மெதுவாகச் சுழல்கிறது. இச் சூழ்நிலையில் எலெக்ட்ரான் வீதியின் கூடுதல் ஆற்றலுக்கான சமன்பாடு ஒன்றைக் கண்டு, அதன் மூலம் ஒரு குறிப்பிட்ட கூடுதல் வரையறை எண்ணுக்கு உரிய பல்வேறு ஓரைவட்ட வீதிகளின் ஆற்றல் அளவுகள், சார்பியல் திருத்தம் (relativistic correction) காரணமாகச் சிறிதளவு வேறுபடுகின்றன என்று காட்டினார். இவ்வாறு, ஒவ்வொரு ஆற்றல் மட்டத்தையும் பலவாருகப் பிரித்தமையால், போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டினைப் பயன்படுத்தும்போது இயல்பாகவே ஒரு நிறமாலை வரியின் நுண் அமைப்பு (fine structure) கிடைத்துவிடுகிறது.

H∝ வரியில் காணப்பட்ட நுண் அமைப்பினை விளக்கும் பொருட்டு சாமர்ஃபீல்ட் தேர்வு விதி (selection rule) ஒன்றினைப் புகுத்த வேண்டியதாயிற்று. இதனால் கொள்கையளவில் அனுமதிக்கப்பட்ட சில வீதிகள் நீக்கப்படலாம். H∝ வரியில் முகட்டு வட்டை வரையறை எண்ணாகிய $n\varphi$ (azimutal quantum number) ± 1 அளவில் மற்றும் வீதிகளுக்கு இடையே மட்டும் இடமாற்றம் (transition) ஏற்படுவதாக அவர் கொண்டார். அதாவது $\triangle n\varphi = \pm 1$ ஆக இருக்கும் போது மட்டும் இடமாற்றம் நிகழ்வதாகக் கொண்டார். இந்தத் தேர்வு விதியைப் பயன்படுத்தி H∝ வரியில் மூன்று மெல்லிய வரிகள் அடங்கியிருப்பதைக் கண்டார்.

உண்மையில் H∝ வரியில் ஐந்து மெல்லிய வரிகள் உண்டு. எனவே சாமர்ஃபீல்டின் கொள்கை ஓரளவுதான் வெற்றி பெற்றதாகும். இது தேர்வு விதியில் ஏற்பட்ட தவறினால் விளைந்தது அல்ல. இந் நிகழ்ச்சியில் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி (spin) என்னும் ஒரு புதியக் காரணக் கூறு (factor) விடுபட்டுப் போனதால் ஏற்பட்டதாகும். இப் புதிய கூறினையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்ட அடுத்து வரும் அணு மாதிரி (atom model) ஐந்து மென் வரிகள் ஏற்படுவதற்கான காரணங்களைக் காட்டுகிறது. சாமர்ஃபீல்டின் கொள்கை ஓரளவு வெற்றிதான் பெற்றது என்றாலும், நிறமாலை வரிகளின் சிக்கல் நிறைந்த நுண்ணமைப்பின் பிறப்பிடத்தைப் புரிந்து கொள்ள வழி வகுத்தது என்பதாலும், புதிய வரையறை எண்களையும், காணப்பட்ட உண்மைகளுக்குப் போரின்

கொள்கை கொடுத்த விளக்கத்தைவிட நிறைவு தரும் வகையில் அமைந்த விளக்கத்தைக் கொடுத்தது என்பதாலும் இதனைச் சரியான வழியில் ஏற்பட்ட ஒரு முன்னேற்றம் என்றே கொள்ள வேண்டும். நுண்ணிம நிலையில் உள்ள அணுவுக்குச் சார்பியல் கொள்கையைப் பயன்படுத்திய முதல் நிகழ்ச்சி என்ற முறையில் இதற்குத் தனியான சிறப்பும் உண்டு.

வெக்டார் அணுமாதிரி (Vector atom model) :

ருதர்ஃபோர்டு, போர், சாமர்ஃபீல்டு ஆகியோரின் அணு மாதிரிகளின் (இவை முந்தைய பகுதிகளில் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன) புதுவகை விளக்கமே ஏவரை அணு மாதிரி ஆகும் (vector atom model). முன்பு கூறிய முறைகளின் குறைகளை நீக்குவதற்காக மட்டுமின்றி, செய்முறையில் காணப்பட்ட புது நிகழ்ச்சிகளை விளக்கும் பொருட்டும் இது உருவாக்கப்பட்டது. போரின், எளிய முதற் கொள்கை மிக எளிய ஹைட்ரஜன் அணு நிறமாலை வரியின் நுண் அமைப்பினைக்கூட விளக்கும் திறமை சிறிதும் அற்றிருந்தது. சாமர்ஃபீல்டு செய்த மாற்றம் ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் தனித் தனி வரிகள் நுண் அமைப்புடைய மெல்லிய வரிகளாகப் பிரிவதைக் கொள்கையளவில் மெய்ப்பித்தது என்றாலும் அது பெற்ற வெற்றி அரைகுறை வெற்றியே ஆகும். எனவே இன்னும் அதிகச் சிக்கலுடைய அணுக்களை ஆராய மேற்கூறிய பழைய அணுமாதிரிகள் முற்றிலும் தகுதியற்றவையாகும். அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு பங்கிடப்பட்டிருந்தன என்பது பற்றியும் அவை எவ்வாறு அமர்ந்திருந்தன என்பது பற்றியும் எவ்வித விளக்கமும் தரப் படவில்லை. இது அம் மாதிரிகளில் காணப்பட்ட மற்றுமொரு குறையாகும். விரைவிலேயே, முரணிய சீமன் விளைவு (anomalous Zeeman effect), ஸ்டார்க் விளைவு (stark effect) போன்ற செயல் முறைக் கண்டு பிடிப்புகள், பழைய முறைகளின் பற்றுக்குறையினை மேலும் பறைசாற்றின.

சிக்கல் மிகுந்த நிறமாலை நிகழ்ச்சிகளையும், அவைகளுக்கும் அணுவின் அமைப்புக்கும் உள்ள தொடர்பினையும் பற்றிய கருத்து விளக்கங்களில் மற்றைய நிகழ்ச்சிகளுடன் ஒப்பிட்டு நோக்கியும், செய்து அறிந்தும் பெறப்பட்ட புதிய கருத்துகள் புகுத்தப்பட்டன. இவற்றின் பயனாக ஏவரை அணுமாதிரி பிறந்தது. உண்மையிலேயே சிறப்புமிக்க இப் பணியினை நிறைவேற்ற துணை புரிந்த பௌதிக அறிஞர்களில் போர், சாமர்ஃபீல்டு, உலன்பெக் (Uhlenn-beck) கௌட்ஸ்மித் (Goudsmit), ஸ்டெர்ன் (Stern) மற்றும் கெர்லாக் (Gerlach) ஆகியோர் குறிப்பிடத்தக்கவர்களாவார்கள்.

வெக்டார் அணுமாதிரியின் வருணனை :

ஏவரை அணுமாதிரிக்குத் தனிச்சிறப்பு அளிப்பதும் அதை மற்ற மாதிரிகளிலிருந்து வேறுபடுத்திக் காட்டுவதும் அதன் இரு முக்கியமான சிறப்புப் பண்புகளே ஆகும். அவை திசையைக் குவான்டப்படுத்தும் கருத்து (quantisation of direction) அல்லது இடம் சார்ந்த குவான்டப்படுத்தல் (Spatial quantisation) மற்றும் சுழலும் எலெக்ட்ரான் (Spinning electron) பற்றிய கருத்து ஆகிய வைகளே ஆகும்.

இடம் சார்ந்த வரையறுத்தல் (Spatial quantisation) :

போர் மற்றும் சாமர்ஃபீல்டு ஆகியோர் கூறிய வீதிகள் அவைகளின் அளவினை (magnitude) அதாவது அமைப்பு மற்றும் உருவளவு இவைகளைப் பொறுத்து வரையறை செய்யப்படுகின்றன என்பதைக் கண்டோம். ஆனால் ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின் படி திசையை அல்லது வெளியில் (space) அமைந்துள்ள வீதிகளின் திசையமைப்பினை வரையறை செய்தல் வேண்டும். அதாவது தொன்மைக் கொள்கையால் அனுமதிக்கப்பட்ட வெளியில் அமைந்துள்ள வீதிகளின் தொடர்ந்த இயன்ற எல்லா நிலைகளுக்குள் ஆற்றல் குவான்ட விதி (quantum laws)களுக்கு ஒத்துவருகின்ற சில நிலைகளை அது தேர்ந்தெடுக்கிறது. இத்தகைய இடஞ்சார்ந்த வரையறுத்தல் நிலை, வீதிகளை ஏவரை அளவுகளாக்குகின்றது.

இடஞ்சார்ந்த வகையில் வரையறை செய்வதற்கு, வீதிகள் எதை வைத்துத் தங்களைத் தனித்தனியான திசைமுகப்படுத்திக் கொள்ளக்கூடுமோ அத்தகைய அனுகூலமான ஒரு திசை நமக்குத் தேவை. இத்தகைய அனுகூலமுள்ள திசையைப் புறப் புலவிசை (external field of force) ஒன்றைப் பயன்படுத்திப் பெறலாம். ஆனால் (இவ் விசையால் ஓரைவட்டப்பாதைகள் குலைந்துவிடும் ஆகையால்) இவ் விசை வீதிகளைப் பாதிக்காத அளவுக்குச் சுழியை (zero) நோக்கிக் குறைந்து செல்லவேண்டும். புலத்திசையைச் சார்ந்து வரையறுக்கப்பட்ட திசைமுகங்களைத் (orientations) தீர்மானிப்பதற்கு வரையறுக்கப்பட்ட வீதிகளின் புலத்திசையின் மீதுள்ள வீழ்ச்சி (projections of quantised orbits on the field direction) குவான்டப் பட்டவைகளாக இருக்க வேண்டும் என்னும் உண்மை நமக்கு உதவியாக இருக்கிறது. மின்புலத்தின் ஆட்சியினால் நிறமாலை வரி பிளவுறுகின்ற நிகழ்ச்சியாகிய சீமன் விளைவு (Zeeman effect) என்னும் நிகழ்ச்சியினை விளக்கும் வகையில் சாமர்ஃபீல்டு என்பார் இடஞ்சார்ந்த வரையறுப்பு பற்றிய இப் புதிய கருத்தினை வெளியிட்டு, கணக்கிட்டார்.

சுழல்கின்ற எலெக்ட்ரான் (Spinning Electron)

நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு (fine structure), இயல்பான சீமன் விளைவு முரணிய சீமன் விளைவு (anomalous Zeeman effect) போன்ற கடுஞ்சிக்கலான நிறமாலை நிகழ்ச்சிகளை, நிறைவு தரும் வகையில் விளக்கும் பொருட்டு, 1925 ஆம் ஆண்டில் ஊலன்பெக் மற்றும் கௌட்ஸ்மிட் (Uhlenbeck & Goudsmit) ஆகியோர் "எலெக்ட்ரான் சுழல்கிறது" என்னும் கொள்கையினை வெளியிட்டனர். இதன்படி எலெக்ட்ரான் அணுக் கருவினைச் சுற்றி ஒரு வீதியில் இயங்கிவருவதோடு, அதற்கே உரிய ஓர் அச்சில் தனக்குத்தானே சுழன்று கொண்டும் இருக்கும். —இது சூரியனைச் சுற்றி வருவதுடன் தனக்கே உரிய ஓர் அச்சில் தனக்குத்தானே சுழன்று கொண்டிருக்கின்ற பூமியின் இயக்கத்தினைப் போன்றது.

இடஞ்சார்ந்த குவான்டப் படுத்தல் (spatral quantisation) மற்றும் சுழலும் எலெக்ட்ரான் என்னும் இரு புதிய காரணக் கூறுகள் அணுவின் மாதிரியில் குறிப்பிடத் தக்க மாறுதல்களை உண்டாக்கின. அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரானுக்கு இரு வகையான சோண உந்தங்கள் (angular momentum) உண்டு. ஒன்று எலெக்ட்ரானின் வீதி வழி இயக்கத்தால் ஏற்படுவது; மற்றொன்று எலெக்ட்ரானின் சுழற்சியால் ஏற்படுவது. எனவே எலெக்ட்ரானின் கூட்டு மோதப்பாடு எலெக்ட்ரானின் வீதி வழி இயக்கத்தால் மட்டுமல்லாமல், எலெக்ட்ரானின் சுழற்சியாலும் ஏற்படுவதாகும். ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையின்படி, வீதி வழி இயக்கத்தைப் போலவே, சுழற்சி இயக்கத்தையும் வரையறைப்படுத்த வேண்டியதாகிறது. இது வீதி நிலைக் குவான்ட எண்ணுடன் (orbital quantum number), சுழற்சி நிலை எண் (spin quantam number) என்னும் ஒரு புதிய குவான்ட எண்ணையும் தோற்றுவிக்கிறது. மேலும் வீதி நிலை இயக்கம் மற்றும் சுழற்சி நிலை இயக்கம் இவை இரண்டும் அளவில் மட்டுமின்றி, இடஞ்சார்ந்த குவான்டப் படுத்தல்படி (spatial quantisation) திசையிலும் வரையறுக்கப்பட வேண்டியிருப்பதால் அவைகளை வரையறுக்கப்பட்ட வெக்டார்களாகக் (vectors) கொள்ளுதல் வேண்டும். இந்த தனிப் பண்புதான் அணுமாதிரிக்கு தரப்பட்டபயனுள்ள சேர்க்கையாகும்.

மின்னூட்டங் கொண்ட பொருளின் சுழற்சியால் காந்த-திருப்புத்திறன் (magnetic-moment) ஒன்று ஏற்படுமாகையால், எலெக்ட்ரான் அதன் வீதி வழி இயக்கத்தினால் ஒன்றும், அதன் தற் சுழற்சியினால் மற்றொன்றும் ஆக இரு வகையான காந்த-சுழற்றுத் திறனைப் பெறுகிறது. எனவே அணுவின் காந்த சுழற்றுத்திறன்,

வீதி நிலை காந்த சுழற்றுத் திறன் (orbital magnetic moment) மற்றும் தற்சுழற்சி காந்த சுழற்றுத் திறன் (spin magnetic moment) என்னும் இருவகை காந்த சுழற்றுத் திறனின்களின் கூட்டு விளைவே ஆகும். இவைகளும் மேற்கூறிய காரணங்களினால் வரையறுக்கப்பட்ட வெக்டார்கள் (quantised vectors) ஆகும்.

அணுவின் நிலையினை அறுதியிடுகின்ற வீதி நிலை இயக்கம் மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் போன்ற ஆக்கக் கூறுகள் (component parts) எல்லாமே வெக்டார்களாக (vectors) இருப்பதால் இக் கருத்துகளின் அடிப்படையில் உருவாக்கப்பட்ட அணு மாதிரி வெக்டார் அணு மாதிரி (vector atom model) என்று அழைக்கப்படுகிறது. வெக்டார் விதிகள் (vector lows) இதற்குப் பொருந்துகின்றன.

வெக்டார் அணுமாதிரியுடன் இணைந்துள்ள குவான்ட எண்கள் (Quantum numbers) :

இம் மாதிரியில் ஒவ்வொரு ஆக்கக் கூறு பகுதிக்கும் ஒரு வரையறை எண் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் எண்ணியல் மதிப்பு (numerical value) அது குறிக்கின்ற ஏவரையின் நீளம் எனக் கொள்ளலாம். வெக்டார் பகுப்பு ஆய்வுகளில் (vector analysis) கோண நிலை உந்தம் ஒரு நேர்க்கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. அக் கோட்டின் திசை சுழற்சி அச்சுக்கு (axis of rotation) இணையாகவும், அக் கோட்டின் நீளம் மோதப்பாட்டின் அளவுக்கு ஏற்ற விகிதத்திலும் இருக்கும். ஓர் அணுவில் உள்ள ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் பின் வரும் வரையறை எண்கள் உண்டு.

(i) **கூடுதல் வரையறை எண்** (Total quantum number) n :

இது போர், சாமர்ஃபீல்டு ஆகியோரின் கொள்கைகளில் பயன்படுத்தப்பட்ட வரையறை எண்தான். இது 1,2,3……… போன்ற முழு எண் மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும்.

(ii) **வீதிநிலை வரையறை எண் :** (Orbital quantum number) l :

இது 0-ல் இருந்து $(n-1)$ முடிய உள்ள எந்த முழு எண் மதிப்பினையும் கொள்ளும். ஆகவே $n=4$ என்றால் l என்பது 0, 1, 2, 3 என்னும் மதிப்புகளைப் பெறுதல் கூடும். இந்த வரையறை எண் சாமர்ஃபீல்டின் கொள்கையில் கூறப்பட்ட முகட்டுவட்டை குவான்ட எண் (Azimuthal quantum number) போன்றதே ஆகும். எலெக்ட்ரானின் வீதி நிலை கோண உந்த (orbital angular momentum) Pe வரையறுக்கப்பட்டுள்ளதால்,

*இது $l\left(\frac{h}{2\pi}\right)$ என்பதால் தரப்படுகிறது. (பக்கம் .....பார்க்க)

$l=0$ ஆக உள்ள எலெக்ட்ரான், மரபு வழியாக s எலெக்ட்ரான் என அழைக்கப்படுகிறது.

$l=1$ என்றால் அது p எலெக்ட்ரான் என்றும்
$l=2$ என்றால் d எலெக்ட்ரான் என்றும்
$l=3$ என்றால் f எலெக்ட்ரான் என்றும்
அழைக்கப்படுகின்றன.

(iii) **சுழற்சி குவான்டட எண்** (Spin quantum number) s :

இதன் மதிப்பு எப்போதும் $\frac{1}{2}$ ஆகும். இம் மதிப்பு வரையறுத்தல் பற்றிய முழு எண் மடங்கு விதிக்கு (intigral multiple rule) முரண்படுவதால் சுழல் எலெக்ட்ரான் கொள்கைக்கு எதிரான இடை ஒன்றை எழுப்புவதாகத் தோன்றியது. ஆனால் s-க்குப் பதிலாக $\frac{1}{2}$-ன் முழு எண் மடங்குகளைப் பயன்படுத்தும்போது செயல் முறையில் காணும் உண்மைகளுடன் முற்றிலும் பொருந்துகின்ற முடிவுகளே கிடைத்தன. இவ்வுண்மையே இப் பிரச்சினைக்கான விடையாயிற்று. சுழற்சி கோண வகை மோதப்பாடு $P_s = s\left(\frac{h}{2\pi}\right)$ என்பதால் தரப்படுகிறது. இதில் $s=\frac{1}{2}$ ஆகும்.

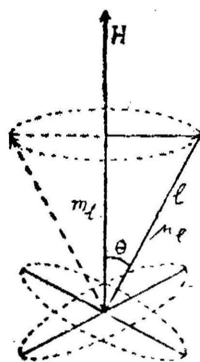
(iv) **கூடுதல் கோண வரையறை எண்** (Total angular quantum number) j :

இது எலெக்ட்ரானின் வீதி வழி இயக்கம் மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் ஆகியவற்றின் தொகு பயன் (resultant) ஆகிய கோண மோதப்பாட்டினைக் குறிக்கிறது. இது l மற்றும் s இவற்றின் வெக்டார் கூட்டுத்தொகையின் (vectorsum) எண்ணியல் மதிப்பு ஆகும். எனவே $j=l+s$ ஆகும். இதன் கூறுகளில் ஒன்றாகிய s எப்போதும் $\frac{1}{2}$-க்குச் சமமாக இருப்பதால் j-ன் மதிப்பு அரை—முழு எண்ணாக (half untegel) இருக்கும் என்பது வெளிப்படை. $j=l\pm\frac{1}{2}$ என எழுதுவது வழக்கம். s என்பது l-க்கு இணையாக இருக்கும்போது இணைப்புக்குறி (+)யும் s என்பது l-க்கு மாற்றிணையாக (anti-parallel) இருக்கையில் கழித்தற் குறியும் (—) இடப்படுகிறது. எலெக்ட்ரானின் கூடுதல் கோண மோதப்பாடாகிய $P_j = j\left(\frac{h}{2\pi}\right)$ என்பதால் பெறப்படுகிறது, வெளியில் (Space) ஓர் அனுகூல அச்சினை (preferential axis) நிச்சயிப்பதற்கு ஏற்றவாறு ஓர் அணுவினைக் காந்தப்புலம் ஒன்றில் வைத்

தால், எலெக்ட்ரானின் வீதி வழி இயக்கம் மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் ஆகியவைகளில் காந்தப்புலம் ஏற்படுத்தும் விளைவுகளின் காரணமாக எலெக்ட்ரானுக்கு மேலும் மூன்று வரையறை எண்கள் சேர்க்கப்படுகின்றன.

காந்த—வீதி நிலை குவாண்ட எண் m_l (Magnetic orbital quantum number) :

இது புலத்திசையின் மேல் l என்றும் வீதி ஏவரையின் (orbital vector) வீழ்ச்சியின் (projection) எண்ணியல் மதிப்பு ஆகும். m_l என்பது ஒரு முழு எண் இது $-l$லிருந்து $+l$ வரை உள்ள $(2l+1)$ மதிப்புகளில் (சுழியையும் சேர்த்து) ஏதாவது ஒன்றைக் கொள்ளலாம். ஏனெனில் இடஞ்சார்ந்த வரையறுத்தலுக்கு ஏற்பப் புலத்தின் திசையிலுள்ள l-ன் வீழ்ச்சியும், குவான்டப்பட்டதாக (quantised) இருக்கவேண்டும். எனவே l, அதன் வீழ்ச்சியாகிய m_l முழு எண் ஆவதற்கு ஏற்ற வகையில் அமைந்துள்ள தனித்தனி அளவுகளில் மட்டுமே, புலத்தின் திசையிலிருந்து சாய்ந்து இருக்கக்கூடும். எடுத்துக்காட்டாக l என்னும் ஏவரை புலத்திசையிலிருந்து θ என்னும் கோணத்தில் சாய்ந்திருப்பதால் (படம் 167) அதன் வீழ்ச்சி (projection) ஆகிய $m_l = l \cos\theta$. என்றாலும், m_l என்பது முழு எண்ணாக இருக்கவேண்டியிருப்பதாலும் $\cos\theta$ என்பது ஒன்றைவிடப் பெரியதாக இருக்க இயலாது ஆகையாலும் m_l-ன் மதிப்புகள் $l, (l-1), (l-2) \ldots\ldots 1, 0, -1, \ldots\ldots -(l-2), -(l-1), -l$ என்பன போன்று ஓர் அலகு இடைவெளியுடன், $+l$-க்கும் $-l$-க்கும் இடையே உள்ள மதிப்புகளாக இருக்கும். கூட்டுத் தொடர் விதிகளைப் (laws of arithmetical progression) பயன்படுத்திப் பார்க்கும்போது m_l பெறக்கூடிய மதிப்புகளின் கூடுதல் எண்ணிக்கை $(2l+1)$ ஆகுமென்று தெரிகிறது.

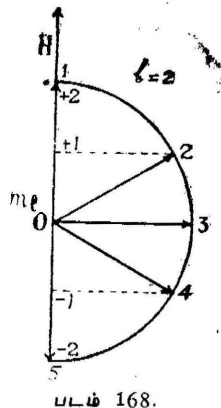


படம் 167.

மறுதலையாக புலத்திசையைப் பொறுத்து அனுமதிக்கப்பட்ட l ஏவரையின் திசையமைப்புகளின் (orientations) எண்ணிக்கை $(2l+1)$ என்பது கூறலாம். எனவே $l = 1$ ஆகும்போது l ஏவரையின் அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைப்புக்களின் எண்ணிக்கை மூன்று ஆகிறது. இதற்கு m என்பது $+1, 0, -1$ என்ற மூன்று மதிப்புகளைப் பெறுகிறது. $l = 2$ ஆகும்போது l ஏவரையின் அனுமதிக்கட்பட்ட திசையமைப்புகள்

ஐந்து ஆகின்றன. இதற்கான m_l-ன் மதிப்புகள் படம் 168-ல் காட்டியுள்ளவாறு $+2, +1, 0, -1, -2$ என்னும் ஐந்தாகின்றன.

(vi) **காந்த—சுழற்சி குவான்ட எண்** (Magnetic spin quantum number) m_s :



படம் 168.

இது புலத்தின் திசைமீது சுழற்சி வெக்டாரின் (spin vector) வீழ்ச்சியின் எண்ணியல் மதிப்பு ஆகும். வீதி வெக்டாரைப் போலவேசுழற்சி வெக்டாரையும் $(2s+1)$ என்னும் எண்ணிக்கையுடைய அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைப்புக்களைக் கொண்டிருக்கக் கூடும். s என்பது எப்போதும் $\frac{1}{2}$ ஆக இருப்பதாலும் ஒரு போதும் அது சுழி ஆவதில்லை ஆதலாலும் சுழியை நீக்கினாலும் அது $-s$-க்கும் $+s$-க்கும் இடையே உள்ள $(2s+1)$ மதிப்புகளில் ஏதேனும் ஒன்றை m_s பெறும். இதிலிருந்து m_s என்பது $+\frac{1}{2}$ மற்றும் $-\frac{1}{2}$ என்னும் இரு மதிப்புகளை மட்டுமே பெற முடியும் என்பது தெரிகிறது.

(vii) **காந்த—கூடுதல் கோண உந்தக் குவான்ட எண்** m_j (Magnetic—total angular momentum quantum number) :

இது புலத்திசையின் மேல் கூடுதல் கோண மோதப்பாடு ஏவரையாகிய j-ன் வீழ்ச்சியின் எண்ணியல் மதிப்பு (numerical value) ஆகும். நாம் ஒற்றை எலெக்ட்ரானைப் பற்றி இங்கு பார்ப்பதால் $j = l \pm \frac{1}{2}$ ஆகிறது. ஆகவே m_j என்பது அரையின் முழு எண் மடங்காகிய மதிப்புகளையே பெறுதல் வேண்டும். j-ன் அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைப்புகளின் எண்ணிக்கை $(2j+1)$ ஆகும். எனவே m_j என்பது சுழி நீங்கலாக $+j$ லிருந்து $-j$ வரையிலான $(2j+1)$ மதிப்புகளையே பெற முடியும்.

l-க்கும் s-க்கும் இடையே தொடர்பு அற்றுப் போகும் அளவுக்கு வலுவுள்ள காந்தப் புலத்தில்தான் m_l மற்றும் m_s என்னும் குவான்ட எண்கள் செயல்படுகின்றன, என்பதையும் ஆனால் சாதாரண புலங்களில் m_j என்பது பலனளிப்பதாய் உள்ளது என்பதையும் நினைவில் கொள்ளுதல் வேண்டும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவில் உள்ள ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானின் நிலையையும் மேற்கூறியவாறு வரையறுத்துவிட்டபடியால்

அணுவின் நிலையினைப் பின்வருமாறு நிச்சயிக்கலாம். ஓர் அணுவை முழுமையாகக் குறிப்பிடக் கூடிய கூட்டுவிளைவான வரையறுக்கப்பட்ட வெக்டார்களை (resultant quantised vector) (a) அணுவில் உள்ள தனித்தனி எலெக்ட்ரான்களின் ஏவரைகளைத் தக்கவாறு சேர்த்தும் (b) இடஞ்சார் வரையறுத்தல் விதிகளைப் பயன்படுத்தியும் பெறலாம். l, s, i மற்றும் s, p, d, f போன்ற சிறிய எழுத்துகள் எலெக்ட்ரானின் நிலையை விளக்கவும் L,S,T,J மற்றும் S, P, D, F என்னும் பெரிய எழுத்துகள் அணுவின் நிலையை விளக்கவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

இணைப்புத் திட்டங்கள் (Coupling Schemes) :

எலெக்ட்ரான்களின் வெக்டார்களைச் சேர்த்து முழு அணுவினையும் குறிக்கும் ஏவரையினைப் பெறுவதற்குப் பல வழிகள் இருக்கின்றன. எலெக்ட்ரானின் வீதி வழி இயக்கம், மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் ஆகியவை காந்தப் புலங்களை உண்டாக்கி அதன் பயனாக ஒன்று மற்றொன்றில் கலக்கங்களை (pertubaration) உண்டாக்கும். எனவே சேர்க்கை முறை, வெக்டார் கூறுகளுக்கிடையே உள்ள இணைப்பினை (coupling) பொறுத்திருக்கிறது. இணைப்புகளில் இரு வேறு வகைகள் உள்ளன. அவை ரஸ்ஸல்-சாண்டர்ஸ் (russell-sannders) அல்லது L–S இணைப்பு மற்றும் jj இணைப்பு என்பனவாகும்.

L-S இணைப்பு என்பது அடிக்கடி நிகழும் ஒன்று ஆகையால் அது இயல்பு இணைப்பு (normal coupling) என்று கூறப்படும். இதில் பல சுழற்சி ஏவரைகள் சேர்ந்து S என்னும் கூட்டு விளைவு வெக்டாரைத் (resultant vector) தருகின்றன. இது போன்றே பல வீதி வெக்டார்கள் (orbital vectors) சேர்ந்து L என்னும் கூட்டு விளைவு வெக்டாரைத் தருகின்றன. பின்னர் S மற்றும் L என்பன சேர்ந்து J என்னும் ஏவரையைத் தருகின்றன. இது அணுவின் கூடுதல் கோண உந்தத்தினைக் குறிக்கிறது. இதனைப் பின்வரும் குறியீடுகளில் குறிப்பிடலாம்.

$$(s_1+s_2+s_3+\ldots\ldots)+(l_1+l_2+l_3+\ldots\ldots)=S+L=J.$$

தனித்தனி தற்சுழற்சிகளிடையே ஏற்படுகின்ற பின்னிச் செயல்படுதலும் (interaction) தனித்தனி வீதிவழி மோதப்பாடுகளும், வலுவுள்ளவைகளாக இருக்கும்போது இத்தகைய இணைப்பு மிகவும் இயல்பான ஒன்றாக இருக்கிறது.

இத்தகைய இணைப்பினை ஆட்சி செய்யும் கோட்பாடுகளாவன : (i) L, S மற்றும் J என்னும் எல்லா ஏவரைகளும் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளன. (ii) L என்பது எப்போதுமே ஒரு முழு

எண்ணாகும். இதில் சுழியும் (zero) அடங்கும். அதாவது L என்பது 0, 1, 2, 3 ... இன்னோரன்ன மதிப்புகளை உடையது. (iii) S என்பது பங்கு பெறும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, தற்சுழற்சி வெக்டார்களின் திசை இவைகளைப் பொறுத்து முழு எண்ணாக அல்லது அரை—முழு எண்ணாக (helf-intiger) இருக்கும் எடுத்துக்காட்டாக ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரானைக் கொண்ட அணுவில் S எப்போதும் $\frac{1}{2}$ என்ற ஒரே ஒரு மதிப்பினைக் கொண்டிருக்கும். இரு எலெக்ட்ரான்கள் கொண்ட அணுவில், எலெக்ட்ரான்களின் சுழற்சி வெக்டார்கள் (spin vectors) ஒன்றுக்கு ஒன்று இணையாக இருக்கின்றனவா அல்லது மாற்றிணையாக இருக்கின்றனவா என்பதைப் பொறுத்து S என்பது 1 அல்லது 0 என்னும் மதிப்பினைப் பெறுதல் கூடும். மூன்று எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் மேற்கூறிய அதே காரணத்தினால் S என்பது $\frac{3}{2}$ அல்லது $\frac{1}{2}$ என்னும் மதிப்புகளையும் நான்கு எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் S என்பது 2, 1, 0 என்னும் மதிப்புகளையும் பெறக்கூடும். இதைப் படம் 169-ல் இருந்து எளிதில் அறியலாம். (vi) எனவே L, S இவைகளின் வெக்டார் கூட்டுத் தொகை (vector sum) ஆகிய J என்பது S என்பதின் முழு எண்ணாக இருப்பின்—அதாவது இரட்டைப் படை எலெக்ட்ரான் அமைப்புகளுக்கு—முழு எண்ணாக இருக்க

TWO ELECTRONS	THREE ELECTRONS	FOUR ELECTRONS
s_2, s_1; s_1, s_2	s_3, s_2, s_1; s_2, s_1, s_3	s_4, s_3, s_2, s_1; s_3, s_2, s_1, s_4; s_2, s_1, s_3, s_4
S = 1, 0	3/2, 1/2	2, 1, 0

படம் 169

வேண்டும். (0, 1, 2, 3, ...) S என்பது அரை—முழு எண் ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, ...) ஆனால் J என்பதும் அரை முழு எண்ணாக இருக்க வேண்டும். பொதுவாக J பெறக்கூடிய மதிப்புகளின் எண்ணிக்கை,

L > S ஆக இருக்கையில் (2S + 1) என்றும்

L < S ஆக இருக்கையில் (2L + 1) என்றும்

மெய்ப்பிக்க இயலும்.

(2S + 1) என்னும் அளவு L நிலையின் (L state) பெருக்கம் (multiplicity) எனப்படுகிறது. கொடுக்கப்பட்ட L-ன் ஒரு மதிப்பிற்கு, அனுமதிக்கப்படும் J-ன் மதிப்புகளை இது தருகிறது.

குறிப்பாக L = 0 என்றால் J = S என்னும் ஒரே ஒரு மதிப்பினைத் தான் இது பெற இயலும். J என்பது அணுவின் கூடுதல் கோண மோதப்பாட்டினைக் குறிப்பதால் அது எப்போதும் சுழியைவிடப் பெரிதாகவே இருக்கும்.

j-j இணைப்பு (j-j Coupling):

குறிப்பிட்ட சில சூழ்நிலைகளில் எலெக்ட்ரான்களின் சுழற்சி ஏவரைகளுக்கிடையே அல்லது வீதி ஏவரைகளுக்கிடையே ஏற்படும் பின்னிச் செயல்படுதலைக் (interaction) காட்டிலும் தற்சுழற்சி ஏவரைகளுக்கும் இடையே உள்ள பின்னிச் செயல்படுதல் மிக்க வலுவுள்ளதாக இருக்கும். இவ்வாருயின் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானையும், தனித்தனியே நோக்கி, அது அணுவின் கோண மோதப்பாட்டிற்குத் தருகின்ற பங்கினை அதன் தனிப்பட்ட சுழற்சி மற்றும் வீதி ஏவரைகளை $j = l + s$ என்னும் தொடர்பினைக் கொண்டு இணைத்துப் பெறலாம். அவ்வாறு ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் பெற்ற j-ன் மதிப்புகளின் கூட்டுத் தொகை அணுவின் கூடுதல் கோண மோதப்பாடாகிய J-ஐத் தருகிறது. இத்தகைய இணைப்பினைப் பின் வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

$$[(s_1+l_1) + (s_2+l_2) + \ldots\ldots] = (j_1+j_2+\ldots\ldots) = J.$$

மேற்கூறிய இரு இணைப்பு முறைகளும் இணைப்பு முறையின் இரு எல்லைகளாகும். இவை இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட பல முறைகள் இருக்கக்கூடும் அவை இப் பிரச்சினையை மிக்க கடினமாக்குகின்றன. ஆனால் நாம் அறிந்த பல இடங்களில் L S இணைப்பு மிகுந்த பயனுடையதாக இருக்கிறது.

இடஞ்சார்ந்த வரையறுத்தலைப் பயன்படுத்துதல் (Application of spatial quantisation):

அணுவினைக் குறிக்கும் கூட்டு விளைவு வெக்டார்களுக்கு (resultant vectors) இடஞ்சார்ந்த குவான்டக் கோட்பாட்டினைப் (principle of spatial quantisation) பயன்படுத்த L-S மற்றும் J இவைகளின் அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைப்புகளின் எண்ணிக்கைகள் (அனுகூலமான புலத் திசையைப் பொறுத்து பெறப்பட்ட திசையமைப்புகள்) முறையே (2L+1), (2S+1) மற்றும் (2J+1) என்பன ஆகும். அவைகளுக்குரிய காந்த வரையறை எண்களாகிய,

$$M_L = \Sigma m_l,\ M_S = \Sigma m_s \text{ மற்றும் } M_J = \Sigma m_j$$

என்பன முறையே (2L+1), (2S+1) மற்றும் (2J+1) மதிப்புகளையே பெறுகின்றன.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பில்—அதாவது ஒரே ஒரு பலனுள்ள எலெக்ட்ரானை உடைய அமைப்பில்—$L = l$, $S = s$ மற்றும் $J = j$ ஆக இருக்கின்றன. அதாவது முழுமையான அணுவின் நிலை ஒரு எலெக்ட்ரானின் நிலையாகாவே இருக்கிறது.

வெக்டார் அணுமாதிரியின் பயன் (Application of vector atom model) :

பழைய அணு மாதிரிகளைக் கொண்டு நிறைவு தரும் வகையில் விளக்க இயலாத பல, சிக்கல் மிகுந்த அணு மற்றும் நிறமாலைப் பற்றிய நிகழ்ச்சிகளுக்கு, நிறைவு தரும் பொருத்தமான விளக்கங்களைத் தருகின்ற காரணத்தால் ஏவரை அணுமாதிரி பெருமளவு சிறப்புறுகின்றது. மேலே விவரிக்கப்பட்ட, ஓரளவு செயற்கையான ஏவரை அணு மாதிரியைப் பயனுள்ள முறையில் பயன்படுத்துவதற்குப் பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாடு (Poul's exclusion principle), தேர்வு விதி செறிவு விதி, இடை வெளி விதி மேலும் லாண்டியின் பிளக்கும் எண்ணுகிய g (lande's sppitting factor g) ஆகியவை தேவை. இவ் விதிகளின் உதவியுடன், அணுக்களின் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பு, நிறமாலை வரிகளின் நுண் அமைப்பு, முரண்பாடுள்ள சீமன் விளைவு, சிக்கல் மிகுந்த ஸ்டார்க் விளைவு ஆகியவை நிறைவு தரும் வகையில் விளக்கப்பட்டன. மேற் கூறிய தலைப்புகளில் பல இப் புத்தகத்தின் நோக்கிற்கு அப்பாற்பட்டன. எனினும் நாம் பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாட்டினை விவரித்து அதனை ஏவரை அணுமாதிரியுடன் சேர்த்துப் பயன்படுத்தி நமது உடனடி நோக்கமாகிய அணுவில் எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பினை விளக்குவோம். பின்னர் முக்கியமான தேர்வு விதி (selection rule) செறிவு விதி (intensity rule) மற்றும் இடைவெளி விதி (intervale rule) ஆகியவைகளைச் சுருங்கக் கூறி அவைகளைக் கொண்டு நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பினை விளக்குவோம்.

அணுக்களில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு
(Electronic structure in atoms)

பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாடு (Poul's exclusion principle)—இது சில வேளைகளில் பௌலியின் சமநிலைக் கோட்பாடு எனவும் கூறப்படுகிறது — கூறுவதாவது : **ஓர் அணுவில் முற்றிலும் குவான்டப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகள் ஒவ்வொன்றிலும் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான்தான் குடி கொள்ளக் கூடும்** ஓர் அணுவின் இரு எலெக்ட்ரான்கள் அவைகளின் வரையறை எண்களைப் பொறுத்த வரை ஒரே மாதிரியானவைகளாக இருக்க முடியாது என்றும்

கூறலாம். அதாவது அத்தகைய நிலையில் அவ் வெலக்ட்ரான்கள் இரண்டில், ஒன்று அணுவின் அமைப்பில் பங்கு கொள்வதிலிருந்து நீக்கப்பட்டு விடும். ஆகவேதான் இக் கோட்பாடு 'நீக்கல் கோட்பாடு' என்றழைக்கப்படுகிறது.

இக் கோட்பாட்டினை இன்னொரு விதமாகவும் கூறலாம் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றுக்கு ஒன்று இடம் மாறிக் கொள்வதால் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றைப் பெறக் கூடிய இரு குவான்ட எண்களின் அமைப்புகளும் (systems of quantum numbers) ஒரே நிலையைத்தான் குறிக்கின்றன. இவ்வாறு உணரப்பட்ட அக் கோட்பாடு, ஒரே குவான்ட எண்களைக் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களை வேறுபடுத்திக் காண இயலாத தன்மையினை உண்டாக்கி விடுகிறது. ஆகவேதான் இது 'சம நிலைக் கோட்பாடு' எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.



படம் பௌலி.

இக் கோட்பாடு அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட, குறைந்த அளவு தனித்தன்மையைத் தருகிறது என்பது தெளிவு. எலெக்ட்ரானுடன் தொடர்புள்ள பல குவான்ட எண்களுக்குள் n, l, m_l மற்றும் m_s அல்லது n, l, j மற்றும் m_j ஆகிய நான்கு குவான்ட எண்கள் குறிப்பிட்ட ஓர் எலெக்ட்ரானின் நிலையைக் குறிப்பிடுவதற்கு அவசியமாகின்றன. முதலில் கூறிய நான்கும் (n, l, m_l மற்றும் m_s) l மற்றும் s இவைகளின் இணைப்பைத் தகர்க்கக்கூடிய வலுவுள்ள மின்புலத்திலும், மற்ற நான்கும் (n, l, j மற்றும் m_j) பாக்கியுள்ள நிகழ்ச்சிகளின் போதும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(a) ஒளியியல் மற்றும் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளில் ஒரு வரி தோன்றுதல் அல்லது தோன்றாதிருத்தல் — அணுக்களின் விடுபட்டுப் போன ஆற்றல் நிலைகளுக்கு எலெக்ட்ரானின் நான்கு வரையறை எண்களும் ஒன்றாகி விடுகின்றன என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது — மற்றும் (b) போர், ஸ்டோனர் போன்றவர்களால் கண்டு

பிடிக்கப்பட்ட, மடக்கு நிலை அட்டவணையில் காணப்படுவது போன்று, அடுத்து அடுத்து அணுக்கள் அமைந்திருக்கும் முறை — இத்தகைய அமைப்புக்கு ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் மேற்கூறிய நான்கு வரையறை எண்களின் தொடர்பு தேவை— ஆகியவை பற்றி விளக்கம் தரும் பொருட்டு பௌலி இக் கோட்பாட்டினைப் புகுத்தினர். எனவே இக் கோட்பாடு முக்கியமாக எலெக்ட்ரான் அமைப்பு மற்றும் அணு நிறமாலை இவைகளைத் தெளிவாக்குவதில் பயன்பட்டது. பின்னர் விரைவிலேயே இக் கோட்பாடு மிகுந்த அடிப்படைத் தன்மை கொண்டதாகவும் பொதுத்தன்மை கொண்டதாகவும் இருப்பது அறியப்பட்டது. எந்த ஒரு மூலக்கூறு ஆயினும், அதிலுள்ள அத்தனை எலெக்ட்ரான்களுக்கும், ஏன் பெருமளவில் உள்ள உலோகக் கட்டியின் கடத்தல் எலெக்ட்ரான்கள் (conduction electrons) மற்றும் மிக நுண்ணிய அணுக் கருவின் ஆக்கக் கூறுகிய துகள்களுக்குக் கூட பொருந்தி வருவது காணப்பட்டது.

இருந்தும் இக் கோட்பாடு இதுவரை கொள்கையளவில் மெய்ப்பிக்கப்படவில்லை. இக் கோட்பாட்டினை ஏவரை அணு மாதிரியுடன் சேர்ந்த செயலறி கோட்பாடாகவே (empiricol principle) கொள்ளுதல் வேண்டும்.

அணுக்களில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு :

இலேசான தனிமங்களிலிருந்து கனமான தனிமங்களை நோக்கிச் செல்லும் போது இயல்பான நிலையில் உள்ள அணுக்களின் எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கை சீராக அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது என்பது ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டவுடன், அணுவில் உள்ள அந்த எலெக்ட்ரான்கள் அங்கொன்றும் இங்கொன்றுமாகத் தன்னிச்சையாக அமைந்திருக்கின்றனவா அல்லது ஒரு வரையறையான முறையில் அமைந்திருக்கின்றனவா என அறிய விழைவது இயல்பே ஆகும்.

பொதுவாக ஓர் அமைப்பின் நிலை ஆற்றல் (potential energy) மிகக் குறைவாக இருக்கையில் அது அதிக நிலைத் தன்மை (stable) உடையதாக இருக்கிறது. ஓர் அணுவின் நிலை ஆற்றல் குறைவாக இருப்பதால் எலெக்ட்ரான் வீதிகளைக் குறிக்கும் கூடுதல் குவான்ட எண்ணாகிய n (total quantum number) சிறியதாகிறது. ஆகவே எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் குறைந்த ஆற்றலுடைய முதல் வீதியில் இருக்க வேண்டும் என்று தோன்றக் கூடும். ஆனால் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை மற்றும் தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணை ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் மேற்கொள்ளப்பட்ட ஆய்வுகள் இதற்கு மாறான முறையில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்

பதைக் காட்டின. அதாவது எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் கூட்டமாக முதல் வீதியிலேயே இருப்பதற்குப் பதிலாக பல்வேறு வீதிகளில் குறிப்பிட்ட ஒரு முறையில் அமைந்திருக்கின்றது.

ஓர் அணுவின் எலெக்ட்ரான்கள் அணுக் கருவைச் சுற்றி பல்வேறு பிரிவுகளில் அல்லது மண்டலங்களில் (groupsor shells) அமைந்துள்ளன என்றும், ஒரே கூடுதல் வரையறை எண்ணினைப் பெற்றுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் ஒரே மண்டலத்தில் (shell) அமைந்துள்ளன என்றும் தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை பற்றிய ஆய்வுகள் வலியுறுத்துகின்றன. இவ்வாறு K என்னும் பெயர் கொண்ட முதல் மண்டலத்தில், கூடுதல் வரையறை எண் $n=1$ ஆகக் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களும் L என்னும் அடுத்த மண்டலத்தில் $n=2$ ஆக உள்ள எலெக்ட்ரான்களும் இவ்வாறே மற்ற மற்ற மண்டலங்களிலும் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்திருக்கின்றன. அணுக்களில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பினை உருவாக்குவதைப் பொறுத்த அளவில் உள்ள முழுமையான திட்டமாவது :

மண்டலம்	K	L	M	N	O	P	Q
n	1	2	3	4	5	6	7

இம் மண்டலங்கள் பற்றிய கருத்தினைக் கூறியதற்காகவும், அவற்றிற்குப் பெயரிட்டமைக்காகவும், லீவிஸ் (Lewis), லாங்ம்யூர் (Lang muir). போர் (Bohr) மற்றும் ஸ்டோனர் (Stoner) ஆகியோருக்கு நாம் பெரிதும் கடமைப்பட்டுள்ளோம். வீதிகள் பற்றிய கருத்துப்படி ஒரே கூடுதல் வரையறை எண் உடைய பல வீதிகள் (orbits) இருக்கக் கூடுமாதலால் ஒரே n மதிப்புடைய எல்லா வீதிகளும் ஒரு மண்டலத்தினை உருவாக்குவதாகக் கூறப்படுகிறது.

தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணை :

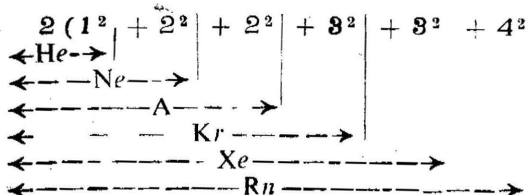
தனிமங்களின் பண்புகளில் காணப்படுகின்றன, மடங்கி மடங்கி வரும் மாற்றங்களை வெளிப்படையாகக் காட்டுவதன் மூலம் பல்வேறு மண்டலங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் கூட்டமாக அமைந்திருப்பதை மடக்கு நிலை அட்டவணை உறுதி செய்கிறது. இயற்கையில் காணப்படும் பல்வேறு தனிமங்களை அவைகளின் இரசாயனப் பண்புகள் மற்றும் அணு எடைகள் இவற்றின் அடிப்படையில் முறைப்படுத்திய அமைப்பே மடக்கு நிலை அட்டவணையாகும். இது முதலில் 1871-ல் மென்டலீஃப் (Mendeleef) என்பவரால் வரையப்பட்டுப் பின்னர் சிறிது சிறிதாகச் செம்மைப்படுத்தப்பட்டது. இதைச் செம்மைப்படுத்தியதில் தனிமங்களின் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் பற்றிய ஆய்வுகள் முக்கியப் பங்கு வகிக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் வரிகள் (characteristic X-ray

lines) பற்றி மோஸ்லி செய்த ஆய்வுகள், தனிமங்களின் வரிசையினை நிர்ணயிப்பது அணு எண் தானே தவிர அணு எடை அல்ல என்று தெளிவாகக் காட்டின. மடக்கு நிலை அட்டவணையில் 1, 2, 3,......92 வரையிலான தனிமங்களுக்கு உரிய இடத்தை நிர்ணயம் செய்வது அணு எண்தான்.

தனிக அட்டவணை சிக்கலான அமைப்பு உடையது. இதில் ஏழு படுக்கை வரிசைகள் இருக்கின்றன. அவற்றிற்கு மடக்குகள் (periods) என்று பெயர். இதில் தனிமங்களின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகள் அணு எண்ணின் மடக்கு நிலை சார்பலனாக (periodic function) சீராக, மாறி மாறி வருகின்றன. தொகுதிகள் (groups) எனப்படும் எட்டு குத்து வரிசைகள் இருக்கின்றன. இவை ஒவ்வொன்றிலும் ஒரே வகையான பண்புகளைக் கொண்ட தனிமங்கள் அடங்கியுள்ளன பல்வேறு மடக்குகளில் உள்ள தனிமங்களின் எண்ணிக்கை ஒரே அளவினதல்ல. முதல் மடக்கில் இரண்டே தனிமங்கள்தான் இருக்கின்றன. இரண்டு மற்றும் மூன்ருவது மடக்குகள் ஒவ்வொன்றிலும் 8 தனிமங்களும், நான்காவது மற்றும் ஐந்தாவது மடக்குகளில் ஒவ்வொன்றிலும் 18 தனிமங்களும், ஆருவது மடக்கில் 32 தனிமங்களும் ஏழாவதில் 16 தனிமங்களும் இருக்கின்றன. தனிமங்கள் இருக்கும் இடத்தின் எண் அணு எண்ணுல் நிர்ணயம் செய்யப்படுவதால் அந்த எண் அவ்வணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் தருகிறது.

தனிமங்களின் இத்தகைய மடக்கு நிலை அமைப்பு, ஒழுங்கான இடைவெளியில் ஒரு புதிய மண்டலம் உருவாகும் என்னும் கருத்தினைக் கூறுகிறது. இம் மண்டலம் (shell) மடக்கின் போக்கில் வளர்ச்சியுறும் போது, ஆக்கக் கூறு எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் அவைகளின் பங்கீடு இவைகளால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்ற ஒரே வகையான பண்பு மாற்றங்களை அடைந்து செல்கிறது. பொதுவாக உள் மண்டலங்கள் அவற்றிற்கு உரிய எண்ணிக்கைக் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களினுல் நிரப்பப்பட்ட பிறகே புதிய மடக்கு ஒன்றின் துவக்கத்தைக் குறிக்கும் புதிய மண்டலம் ஒன்று உருவாகிறது என்னும் குறிப்பும் இதில் காணப்படுகிறது. எனினும் உட் கூடுகள் நிரம்புவதற்கு முன்னமேயும் புதிய கூடுகள் உருவாகுதலும் உண்டு என்பதை மறக்கலாகாது. கூடுகள் ஒவ்வொன்றையும் நிரப்புவதற்குத் தேவையான எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கண்டு பிடிப்பதற்கான ஒரு குறிப்பு ஹீலியம், நியான், ஆர்கான், கிரிப்டான், செனுன் மற்றும் ரேடான் ஆகிய இரசாயன முறையில் செயலற்ற—

ஆகவே மந்த வாயுக்கள் எனப் பெயர் கொண்ட—ஓரணுத் தனிமங்களின் மடக்கு நிலை தோற்றத்திலிருந்து நமக்குக் கிடைக்கிறது. (மேற் கூறிய தனிமங்கள் அட்டவணையில் 0 தொகுதியின் கீழ் வருகின்றன) அவைகளின் அணு எண்களாகிய 2, 10, 18, 36, 54 மற்றும் 86 ஆகியவைகளை நோக்க அவைகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை முறையே 2, 10, 18, 36, 54 மற்றும் 86 ஆகிறது. இந்த எண்களைப் பின்வருமாறு எளிய எண்ணியல் தொடர்களாக (numerical series) அமைக்கலாம் என்னும் கருத்தினை ரிட்பர்க் என்பார் கூறினார்.



இத்தகைய அமைப்பு, மந்த வாயுக்களின் எலெக்ட்ரான்களை மண்டலங்களில் பங்கிடக் கூடும் எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. எடுத்துக் காட்டாக ஹீலியம் அணு இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் கொண்ட ஒரே ஒரு மண்டலத்தைக் கொண்டுள்ளது. நியான் இரண்டு மண்டலங்களைக் கொண்டுள்ளது. அதன் முதல் மண்டலத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும் இரண்டாவது மண்டலத்தில் எட்டு எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன. ஆர்கான் மூன்று மண்டலங்களைப் பெற்றிருக்கிறது. அதில் முதல் மண்டலத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும், இரண்டாவதில் எட்டும் மூன்றாவதில் எட்டும் உள்ளன. கிரிப்டானுக்கு நான்கு மண்டலங்கள் உள்ளன. முதல் மூன்று மண்டலங்களும் ஆர்கான் கொண்டுள்ளது போன்ற எண்ணிக்கையுடைய எலெக்ட்ரான்களையும், ஆனால் நான்காவது மண்டலத்தில் 18 எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருக்கிறது. இவ்வாறே மற்ற மற்றத் தனிமங்களின் அமைப்பும் உள்ளது. அடைப்புக் குறிக்கு வெளியே இருக்கின்ற இரண்டு என்னும் எண் ஒருவித சமச்சீர் அமைவினை, எலெக்ட்ரான்களின் இணையாக்கத்தைக் (pairing) குறிக்கிறது.

மேலும் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் ரிட்பர்க் தொடரில் அதன் அடைப்புக் குறிக்கு உள்ளே இருக்கின்ற எண்களின் வரிசையைப் பொறுத்தவரை மாறுதல்கள் செய்யப்பட வேண்டும் என்பதை உணர்த்தின. இவ்வாறு கிரிப்டானின் அமைப்பு $2(1^2+2^2+3^2+2^2)$ என்று இருக்க வேண்டும். இதில் இறுதி

தனிமங்களின் படக்குநிலை அட்டவணை (THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS)

Period	Gr. I	Gr. II	Gr. III	Gr. IV	Gr. V	Gr. VI	Gr. VII	Gr. VIII	Gr. 0	Electronic shells
I	1 H 1·008								2 He 4·003	K
II	3 Li 6·94	4Be 9·02	5 B 10·82	6 C 12·01	7 N 14·008	8 O 16	9 F 19		10 Ne 20·183	K, L
III	11 Na 22·997	12 Mg 24·32	13 Al 26·97	14 Si 28·06	15 P 30·98	16 S 32·07	17 Cl 35·46		18 A 39·944	K, L, M
IV	19 K 39·10 29 Cu 63·54	20 Ca 40·08 30 Zn 65·38	21 Sc 45·10 31 Ga 69·72	22 Ti 47·90 32 Ge 72·60	23 V 50·95 33 As 74·91	24 Cr 52·01 34 Se 78·96	25 Mn 54·93 35 Br 79·92	26Fe, 27 Co, 28 Ni 55·84, 58·94, 58·68	36 Kr 83·7	K, L, M, N
V	37 Rb 85·48 47 Ag 107·88	38 Sr 87·63 48 Cd 112·41	39 Y 88·92 49 In 114·8	40 Zr 91·22 50 Sn 118·7	41 Cb 92·91 51 Sb 121·77	42 Mo 95·95 52 Te 127·61	43 Tc 99 53 I 126·92	44 Ru, 45Rh, 46Pd 101·7, 102·9, 106·7	54 Xe 131·0	K, L, M, N, O
VI	55 Cs 132·91 79 Au 197·2	56 Ba 137·37 80 Hg 200·61	57-71 Rare earths 81 Tl 204·4	72 Hf 178·6 82 Pb 207·21	73 Ta 180·88 83 Bi 209	74 W 183·92 84 Po 210	75 Re 186·31 85 At 211	76 Os, 77 Ir, 78 Pt 190·2, 193·1, 195·2	86 Rn 222	K, L, M, N, O, P
VII	87 Fr 223	88 Ra 226·05	89-103	Actinide series						K, L, M, N, O, P, Q

RARE EARTHS

VI 57-71	57 La 138·9	58 Ce 140·1	59 Pr 140·9	60 Nd 144·3	61 Pm 147·0	62 Sm 150·4	63 Eu 152·0	64 Gd 156·9	65 Tb 159·2	66 Dy 162·5	67 Ho 164·9
	68 Er 167·2	69 Tm 169·4	70 Yb 173·04	71 Lu 174·99							

ACTINIDE SERIES

VII 89-103	89 Ac 227	90 Th 232·12	91 Pa 231·1	92 U 238·07	93 Np 237	94 Pu 242	95 Am 243	96 Cm 245	97 Bk 249	98 Cf 249	99 E 254
	100 Fm 255	101 Mv 256	102 No	103							

யாக உள்ள மண்டலத்தில் ஆர்கானில் உள்ளது போன்று 8 எலெக்ட்ரான்களும் ஆனால் மூன்றுவது மண்டலத்தில் 18 எலெக்ட்ரான்களும் இருக்கின்றன. இவ்வாறே Xe-க்கு $2(1^2+2^2+3^2+3^2+2^2)$ என்றும் Rn-க்கு $2(1^2+2^2+3^2+4^2+3^2+2^2)$ என்றும் இருக்க வேண்டும். இது மண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஓர் எல்லைவரை அதிகமாகிக் கொண்டே சென்று பின்னர் குறைகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.

இத் தனிமங்களின் இரசாயன செயலற்ற தன்மை (chemical inertness) இவற்றின் அணுக்கள், விந்தையான, நிலைத்த தன்மையுடன் கூடிய எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்று மிகவும் உறுதியான சமநிலை அமைப்பு கொண்டிருக்கின்றன என்பதைக் காட்டுகிறது. இது 2, 10, 18, 36...... போன்று அமைந்த எலெக்ட்ரான்கள் அணுவில் நிலையான அமைப்பினை உண்டாக்க முயலுகின்றன என்னும் பொது விதியை அறிவிக்கிறது. ஆனால் இந்த மந்த வாயுக்களில் ஏதேனும் ஒன்றுக்கு அடுத்துள்ள தனிமம் நிலையான அமைப்புக்குத் தேவைப்படும் எலெக்ட்ரான்களைவிட ஒன்று அதிகமாகப் பெற்றிருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டு Li (3); Na (11) K (19), Rb (37) Cs (55), காரத் தொகுதி (alkali group) யைச் சேர்ந்த இவ்வுலோகங்கள், கருத்தைக் கவருகின்ற வகையில் ஒத்த பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. ஒரு மந்த வாயுக்கு அப்பால் இரண்டாவதாக இருக்கும் தனிமம் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களை அதிகப்படியாகப் பெற்றிருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டு Be (4); Mg (12); Ca (20); Sr (38); Ba (56) Ra (88) ஆகிய புவிக்காரங்களும் (alkaline earth) ஒரே மாதிரிப் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இதற்கு எதிர்த்திசையில், மந்த வாயுக்களில் ஏதேனும் ஒன்றுக்கு முன்பு உள்ள தனிமத்தில் உறுதியான அமைப்புக் கொள்வதற்குத் தேவையான எலெக்ட்ரான்களைவிட ஒன்று குறைவாக இருப்பதைக் காண்கின்றோம். எடுத்துக்காட்டு F (9); Cl (17); Br (35); I (53) ஹாலஜன் (Halogen) தொகுதியைச் சேர்ந்த இவைகளும் ஒரேவிதமான பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. மந்த வாயுக்களுக்கு முன்னால் இரண்டாவதாக உள்ள O (8); S (16); Se (34); Te (52) ஆகிய தனிமங்களும் இவ்வாறே ஒத்த பண்புகள் கொண்டிருக்கின்றன. இத்தகைய ஆராய்ச்சிகள் எலெக்ட்ரானின் அமைப்பில் ஓர் அடிப்படைக் கோட்பாடு இருப்பதைக் காட்டுகின்றன. தனிமங்களின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகள் அவற்றின் இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் அமைப்பு இவைகளால் அறுதியிடப்படுகின்றனவே அன்றி அத் தனிமங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் கூடுதல் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து அல்ல என்பதே அக் கோட்பாடு ஆகும்.

மறுதலையாகத் தனிமங்களின் பௌதிக மற்றும் இரசாயனப் பண்புகளை அறிவதன் மூலம் அத் தனிமங்களின் இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப்பற்றி அறிதல்கூடும். பின்னர் அத் தனிமத்திற்கு வெகு அருகில் உள்ள மந்த வாயுவினை வைத்து அத் தனிமத்தினை நோக்கி அதன் பல்வேறு மண்டலங்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான் அமைப்பு பற்றிய முழு விபரமும் அறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக Na-ன் அமைப்பு K மண்டலத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களையும், இரண்டாவதாகிய L மண்டலத்தில் 8 எலெக்ட்ரான்களையும் நிறைவுறுத மூன்றுவது மண்டலத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரானையும் கொண்டிருக்கிறது. இது பொதுவாக (2, 8, 1) என்று சுருக்கமாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. இதுபோன்ற Mg-ன் அமைப்பு (2, 8, 2) ஆகவும் F-ன் அமைப்பு (2, 7) ஆகவும்; O-ன் அமைப்பு (2, 6) ஆகவும் இருக்கின்றன. இம் முறையைப் பின்பற்றிச் சென்ற எண்ணங்கள் பல்வேறு மண்டலங்களை நிரப்புவதற்குத் தேவையான எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கூட அறுதியிடுகின்றன. K மண்டலம் 2 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் L மண்டலம் 8 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் M மண்டலம் 18 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் N மண்டலம் 32 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் O மண்டலம் 18 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் P மண்டலம் 12 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் Q மண்டலம் 2 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றும் நிறைவுறுகின்றன.

இவ்வாறு செயலறி குறிப்புகளை (empirical data) நுணுகி ஆராய்ந்து அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான் அமைப்பின் மண்டலப் பண்பு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இப் பண்பு தனிமங்களின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகளின் மடக்கு நிலை மாற்றங்களிலும் அத் தனிமங்களை மடக்கு நிலையில் வரிசைப்படுத்தி அமைப்பதிலும் தெளிவாகக் காணப்படுகிறது,

இவ்வாறு அனுபவ முறைகள் (empirical methods) மூலம் பெறப்பட்ட, அணுக்களில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு பற்றிய பௌலியின் நீக்கற் கோட்பாடு, அறிவுக்குப் பொருந்திய ஒரு கொள்கையைத் தருகிறது. அக் கொள்கை எலெக்ட்ரான்கள் ஏன் மண்டலங்களில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன, ஒரு மண்டலத்தை நிரப்புவதற்கு ஏன் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை உடைய எலெக்ட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன, மற்றும் நிறைவுற்ற மண்டலங்களுக்கு வெளியில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும், அமைப்பும் மட்டும் அணுவின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகளுக்கு ஏன் காரணமாக அமைகின்றன. என்பதற்கான

விளக்கங்கள் கூறி, மடக்கு நிலை அட்டவணையின் அமைப்புக்கு வழி வகுத்தது.

K மண்டலத்தை எடுத்துக்கொள்ளுவோம் அதில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களுக்கு $n = 1$, $l = 0$ ஆகவே $m_l = 0$ இவ்வாறு ஓர் எலெக்ட்ரானை உணர்த்தும் நான்கு வரையறை எண்களுக்குள் மூன்று அறுதியிடப்படுகிறது. நான்காவது வரையறை எண் ஆகிய m_s என்பது $+\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$ என்னும் இரு மதிப்புக்களைத்தான் கொள்ள இயலும். எனவே K மண்டலத்தில் இருக்கக்கூடிய எலெக்ட்ரான்களின் பெரும எண் (Maximum numbr) ணிக்கை இரண்டு ஆகும். ஏனெனில் இரண்டுக்கு மேல் இருப்பதாகக் கொண்டால் அவற்றின் சுய குவான்ட எண்களைப் (Speeific quaatium numbers) பொறுத்து இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் ஒரே மாதிரியானவைகளாக இருக்க வேண்டிவரும். இது பௌலியின் நீக்கல் கொள்கைக்கு முரணும். எனவே இம் மண்டலம் (K) இரண்டு எலெக்ட்ரான்களுடன் நிறைவு அடைகிறது.

அடுத்துள்ள L மண்டலத்தின் எலெக்ட்ரான்களுக்கு $n=2$, $l=0$ மற்றும் 1 ஆக இருக்கிறது. $n=2$ ஆகவும் $l=0$ ஆகவும் இருக்கும்போது $m_l=0$ மற்றும் $m_s = \pm\frac{1}{2}$ ஆகிறது. எனவே பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாட்டிற்கு ஏற்ப அதில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களே இருக்க முடியும். $n=2$ ஆகவும் $l=1$ ஆகவும் இருக்கும்போது m_l என்பது $(2l+1)$ மதிப்புகளைப் பெறுதல் கூடும் அதாவது 1, 0, — 1, என்னும் மூன்று மதிப்புகளைப் பெறுதல் கூடும். இவை ஒவ்வொன்றும் m_s-ன் இரு மதிப்புகளாகிய $\pm\frac{1}{2}$-ஐச் சேர்த்துக் கொள்ளலாம். ஓர் எலெக்ட்ரானை உணர்த்தும் நான்கு வரையறை எண்களுக்கு இருக்கக்கூடிய வெவ்வேறுன $2(2l+1)$ அல்லது 6 மதிப்புகள் இருக்கும். எனவே இதில் 6 எலெக்ட்ரான்கள் சேர்ந்திருக்க முடியும். எனவே இரு துணை மண்டலங்களாக (Sub-sheils) [$n=2$, $l=0$ மற்றும் $n=2$, $l=1$] உள்ள L மண்டலம் $2+6=8$ எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்று நிறைவு எய்துகிறது.

M என்னும் மூன்றுவது மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் $n=3$ மற்றும் $l = 0, 1, 2$, என்னும் மதிப்புகளையும் பெறுகின்றன. எனவே இம் மண்டலத்தில் வெவ்வேறுன மூன்று துணை மண்டலங்கள் உள்ளன. அவை $n=3$, $l=0$ எனக் கொண்டுள்ள முதல் துணை மண்டலம், $n=3$, $l=1$ எனக் கொண்டுள்ள இரண்டாவது துணை மண்டலம் மற்றும் $n=3$, $l=2$ எனக் கொண்ட மூன்றுவது துணை மண்டலம் என்பவைகளாகும். மேற்

கூறிய காரணங்களினால் முதல் இரு துணை மண்டலங்களில் முறையே 2 மற்றும் 6 எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன, மூன்றாவது $2(2l+1)$ எலெக்ட்ரான்களால் ($l=2$ ஆகையால் 10 எலெக்ட்ரான்களால்) நிறைவு எய்துகிறது. எனவே M மண்டலத்தை நிறைவுறச் செய்வதற்குத் தேவையான எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை 18 ஆகிறது.

இவ்வாறே N எண்ணும் நான்காவது மண்டலம் நான்கு துணை மண்டலங்களைக் கொண்டிருக்கிறது என்றும் காட்டலாம். $n=4$ ஆகவும் $l=0, 1, 2, 3$ ஆகவும் இருப்பதால் முதல் மூன்று துணை மண்டலங்களும் முறையே 2, 6, 10 எலெக்ட்ரான்களையும் அதே சமயத்தில் நான்காவது துணை மண்டலம் $2(2l+1) = 2(2 \times 3 + 1) = 14$ எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கிறது. எனவே நான்காவது மண்டலத்தை நிறைவுறச் செய்ய மொத்தத்தில் 32 எலெக்ட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன.

இதிலிருந்து பின்வரும் பொதுவான முடிவுகளை அடையலாம்'

(i) அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் ஒரே கூடுதல் வரையறை எண் (n)-ஐ உடைய $2n^2$ எலெக்ட்ரான்கள்தான் இருக்க முடியும்.

(ii) n என்னும் மண்டலத்தில் n துணை மண்டலங்கள் இருக்கின்றன. இவை ஒவ்வொன்றிலும் வீதி வழி வரையறை எண்ணாகிய l என்பதால் குறிக்கப்படுகின்ற $2(2l+1)$ எலெக்ட்ரான்களே இருக்க முடியும்.

இவ்வாறு ஓர் அணுவின் எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் ஏன் அணுக்கருவுக்கு அருகில் உள்ள நிலையான மண்டலத்தில் குடி கொள்ளாமல் பல்வேறு மண்டலங்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் பிரிந்திருக்கின்றன என்பதற்கான காரணத்தை பௌலியின் கோட்பாடு, ஏவரை அணுமாதிரியின் உதவியுடன், கூறுகிறது.

ஒவ்வொரு நிறைவுற்ற மண்டலமும் அல்லது துணை மண்டலமும் (sub-shell) சுழற்சி இயக்க மோதப்பாடு மற்றும் வீதிவழி இயக்க மோதப்பாடு இவைகளைப் பொறுத்தவரை சம நிலையில் இருக்கிறது. எனவே நிறைவுற்ற மண்டலங்களால் அணுவின் கூடுதல் கோணமோதப்பாட்டிற்கு ஏதும் லாபம் இல்லை. மேற்கூறிய அறிக்கைக்கான நிருபணம் l என்னும் வீதி நிலை வரையறை எண் கொண்ட நிறைவுற்ற மண்டலம் $2(2l+1)$ எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதில் இருக்கிறது. m_l-ன் பல்வேறு $2(2l+1)$ மதிப்புகளும், m_s-ன் இருவேறு

மதிப்புகளும், $2(2l+1)$ எலெக்ட்ரான்களால் பயன்படுத்தப் பட்டு விடுவதால் முழு எண்ணுக்குக் கொடுப்பதற்கு m_l-ல் அல்லது m_s-ல் ஒன்றும் இல்லை. இதையே வேறு விதமாகக் கூறினால் நிறைவுற்ற ஒவ்வொரு துணை மண்டலத்திற்கும் ஏன் நிறைவுற்ற முழு மண்டலத்திற்கும் $M_L = \Sigma m_l = 0$ மற்றும் $M_S = \Sigma m_s = 0$ எடுத்துக் காட்டாக L மண்டலத்தை எடுத்துக் கொண்டால் முதல் துணை மண்டலத்திற்கு ($n=2$, $l=0$) $m_l=0$. m_s-ன் இரு மதிப்புகளின் வெக்டார் கூடுதல் (vectorsum) சுழி ஆகிறது. ஆகவே $\Sigma m_s=0$ நிறைவுற்ற இரண்டாவது துணை மண்டலத்திற்கு ($n=2$, $l=1$), m_l-ன் $+1$, 0, $-l$ என்னும் மூன்று மதிப்புகளின் ஏவரைக் கூடுதல் சுழி (zero) என்பது வெளிப் படை ஆகவே $\Sigma m_l = 0$ இவ்வாறே m_s மதிப்புகளின் இரு ஏவரைகளின் கூடுதலும் சுழியே ஆகும்.

ஆகவே நிறைவுற்ற துணைமண்டலம் அல்லது மண்டலத்திற்கு M L மற்றும் M_S ஆகியவை சுழிக்குச் சமம் என்றால் L=O; S=O மற்றும் J=L+S=O ஆகும். எனவே நிறைவுற்ற துணை மண்டலம் அல்லது மண்டலம் ஒரு முழு அணுவுக்கு ஏதும் தர முடியாது. இதிலிருந்து ஓர் அணுவின் கூடுதல் கோண உந்தம் (total angular momention) நிறைவுற்ற மண்டலங்களுக்கு வெளியில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களினால் மட்டுமே அறுதியிடப்படு கிறது என்பது தெரிகிறது. இவ்வுண்மை ஒரு தனிமத்தின் இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகள் ஏன் நிறைவுற்ற மண்டலங் களுக்கு வெளியில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பினைப் பொறுத்திருக்கிறது என்பதை விளக்குகிறது. அதாவது இப் பண்புகள் நிறைவுறாத இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான் களைப் பொறுத்திருக்கிறது. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்கள் (Valency electrons) அல்லது ஒளியியல் எலெக்ட்ரான்கள் (Optical electrons) என்றழைக்கப்படுகின்றன.

இவ்வாறு மண்டலம் மற்றும் துணைமண்டலம் இவை ஒவ் வொன்றிலும் உள்ள எலெக்ரான்களின் எண்ணிக்கை நிர்ணயிக் கப்பட்டு விட்டதால், தனிமங்களை படிப்படியாக உருவாக்கவும், அவைகளை ஹைட்டிரஜனிலிருந்து தொடங்கி, யுரேனியம் முடிய அவைகளை மடக்குநிலை அமைப்பாக வரிசைப்படுத்தவும் இயலும் எனக் காட்டலாம். அதற்குரிய எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் இழந்த, Z என்னும் அணு எண் கொண்ட அணுக்கரு, மின்னூட்ட மற்ற இயல்பான அணுநிலை எய்தும் பொருட்டு அதற்குத் தேவை யான Z எலெக்ட்ரான்களையும் ஒன்றன்பின் ஒன்றாகப் பிடித்துக் கொள்வதாகச் சித்தரிப்பது பொதுவான முறையாகும். சேர்க்கப்

படும் ஒவ்வொரு எலெக்ட்ரானுக்கும், தேர்ந்தெடுக்கப்படும் குவான்டா எண்கள் (quanturm numbers), மிக்க நிலைத்த தன்மைக்கு உரிய நிபந்தனையாகிய சிறும ஆற்றல் (Minimum eenergy) மற்றும் பௌலியின் கோட்பாடு இவைகளுக்கு ஏற்ப, எலெக்ட்ரானைக் காலியான இடத்தில் சேர்ப்பதற்கு உகந்தவாறு இருக்கின்றன. அடுத்துப் பிடிக்கப்படும் எலெக்ட்ரான் எந்த மண்டலம் அல்லது துணை மண்டலத்தில் குடிகொள்ளும் என்பதை அறுதியிடுவதற்கு நிறமாலைக் குறிப்புகள் (Spectroscopic data) மற்றும் மாறுதான மின்னழுத்தக் குறிப்புகள் (Critical potential data) ஆகியவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பல்வேறு தனிமங்களின் அணுக்கள் இவ்வாறு உண்டாக்கப் பட்டவுடன் அவற்றின் இரசாயன மற்றும் நிறமாலையியல் பண்புகள் இறுதி மண்டல எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பினுல் அறுதியிடப்படுகின்றன என்பது தெரிந்தது. பௌலியின் கோட் பாட்டின்படி எதிர்பார்ப்பதும் இதுவேதான். ஒரே மாதிரியான, இறுதி மண்டல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு கொண்ட தனிமங்கள் பெருமளவு சமமான இரசாயன மற்றும் பௌதிகப் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இதனுல் தனிமங்களின் அட்டவணையில் மடக்குநிலை உண்டாகிறது. இவ்வாறு Li, Na. K Rb மற்றும் Cs ஆகியவை அடங்கிய காரத்தனிமங்கள் (Alkali elements) இறுதி மண்டலத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்டிருக்கின்றன. M_g, S_r, B_a மற்றும் R_a ஆகிய காரப் புவித்தனிமங்கள் (Alkali earths) நிறைவுற்ற மண்டலத்திற்கு அடுத்த மண்டலத்தில் இரு எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. F, C_l, B_r மற்றும் I என்னும் ஹாலஜன் பிரிவைச் சேர்ந்த தனிமங்களில் நிறைவுற்ற மண்டலத்தை உருவாக்குவதற்குத் தேவையான எண்ணிக்கையை விட ஓர் எலெக்ட்ரான் குறைவாக இருக்கின்றது. N_e, A, K_r, X_e மற்றும் R_n ஆகிய மந்த வாயுக்களில் இறுதி மண்டலம் 8 எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்று நிறைவுற்றதாக இருக்கிறது.

ஆகவே பௌலியின் நீக்கல் கொள்கை (Pouli's exclusion principle) ஒரு மடங்கு நிலை அமைப்பினை (Periodic system) உண்டாக்குகிறது. இவ்வமைப்பு, செய்முறைக் குறிப்புகளைக் கொண்டு உருவாக்கிய அமைப்பினைப் பெரிதும் ஒத்து இருக் கிறது. மேலும் இது ஓர் இலட்சிய அமைப்பினைக் குறிக்கிறது. இரசாயன அறிஞர்கள் செய்முறையில் கண்ட அமைப்பினை விட இது எளிதானது. இதில் அணுவின் உள்ளமைப்புப் பற்றியும் கூறப்பட்டுள்ளது. உண்மை அமைப்பு அணுவின் விளிம்பு சார்ந்த பண்புகளை (Peripheral properties) மட்டுமே தருவதால்

அது இரசாயன அறிஞர்களுக்கும் மற்றும் ஒளியியல்—அதாவது புலனாகும் பகுதி நிறமாலை—அறிஞர்களுக்கும் மட்டுமே பயன் தருவதாய் இருக்கிறது. ஆனால் அணுவின் உள்ளமைப்பினை விவரிக்கும், இலட்சிய அமைப்பு (ideal system) எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை அறிஞர்களுக்குக் கிடைத்த அரியவோர் செல்வமாகும்.

எனினும் பௌலியின் நீக்கல் கொள்கையினடிப்படையில் பெற்ற இலட்சிய அமைப்பு உண்மை அமைப்புடன் (real system) முழுதும் பொருந்துவதில்லை என்பதையும் குறிப்பிடவேண்டும். இவ்விரு அமைப்புகளும் ஆர்கான்வரைப் பொருந்தியிருக்கின்றன. ஆனால் K மற்றும் *Ca* இவைகளில் முன்னதாகவுள்ள M மண்டலம் நிறைவெய்துவதற்கு முன்பாகவே அதற்கு அடுத்தாற்போல் உள்ள N மண்டலம் உருவாக ஆரம்பிக்கிறது.

இவ்வாறே H*f* (72)வுடன் உருவாகவேண்டிய O மண்டலம் R*b* (37) லிருந்தே ஒழுங்கற்ற முறையில் உருவாக ஆரம்பித்து விடுகிறது. ஆனால் இலட்சிய அமைப்புப்படி அதனை நிரப்ப 50 எலெக்ட்ரான்கள் தேவைப்பட்டாலும் உண்மை அமைப்பில் O மண்டலத்தில் 18 எலெக்ட்ரான்களே உள்ளன. P மண்டலத்தை நிரப்ப 72 எலெக்ட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன என்றாலும் உண்மையில் 12 எலெக்ட்ரான்களே இருக்கின்றன. Q மண்டலத்திற்கு 98 எலெக்ட்ரான்கள் உண்டு என்றபோதிலும் அதில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களே இருக்கின்றன. இலட்சிய அமைப்புக்கும். உண்மை அமைப்புக்கும் இடையே காணப்படும் இவ் வேறுபாடுகள் பின்வருமாறு விளக்கப்படுகின்றன.

ஓர் எலெக்ட்ரான் ஒரு மண்டலத்தில் இடங்கொள்வதற்கு முன்பு அம்மண்டலத்திற்கு முந்திய மண்டலம் நிறைவுற்ற நிலையில் இருக்கவேண்டும் என்னும் சிறும ஆற்றல் நிபந்தனை (Minimum energy condition) எப்போதும் காப்பாற்றப்பட வேண்டும் என்பதில்லை. மேலும் இலட்சிய அமைப்பு, மற்றும் உண்மை அமைப்பு இவைகளிடையே உள்ள வேறுபாடுகள் இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பற்றியதாக இருப்பதால், இயல்பான மின்னூட்டமற்ற எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமின்றி அயனியாக்கப்பட்ட நிலையில் உள்ள அணுக்களும் தனிமத்தைக் குறிப்பதாகக் கொண்டால் கொள்கையளவு விதி (Theoritical rule) முற்றிலும் மெய்ப்பிக்கப்படுவதைக் காண்கிறோம்.

நவீனக் குறியீடுகள் கொண்ட எலெக்ட்ரான் அமைப்புக்களுக்குச் சில எடுத்துக்காட்டுகள்

ஹைட்ரஜன் (Z= 1).

இதற்கு ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான்தான் உண்டு. இந்த எலெக்ட்ரான் இவ்வமைப்புக்குச் சிறும ஆற்றல் (Minimum energy) தரும் பொருட்டு $n=1$ ஆக இருக்கின்ற K மண்டலத்தில் இயல்பாகவே இடங்கொள்கிறது. பௌலியின் கொள்கைப்படி K மண்டலத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம். அல்லது ஓர் எலெக்ட்ரான் $m_s=\frac{1}{2}$ மற்றும் $m_s= \frac{1}{2}$ ஆகவுள்ள இரு நிலைகளில் (States) இருக்கக்கூடும். K மண்டலத்தை நிறைவுறச் செய்ய இயலாத இந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரானின் காரணமாக, அணு நிலையில் உள்ள ஹைட்ரஜன் இரசாயன செயல்திறம் கொண்டதாக இருக்கும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். இது தன்னிடம் உள்ள ஒற்றை எலெக்ட்ரானை மற்றொரு ஹைட்ரஜன் அணுவுடன் இணைத்து மூலக்கூறு என்னும் ஹீலியம் போன்ற ஓர் இணைப்பினை உருவாக்குகிறது. இது அணு நிலையில் உள்ள ஹைட்ரஜனைவிட குறைந்த செயல்திறம் கொண்டிருக்கிறது. ஹைட்ரஜன் அணுவின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பைக் காட்டும் குறியீடு 1s என்பதாகும். $l=0$ ஆகையால் 1 என்பது எலெக்ட்ரானின் கூடுதல் வரையறை எண்ணையும், s என்பது எலெக்ட்ரானின் வகையையும் குறிக்கிறது. ஹைட்ரஜன் ஒருசேர்திறன் (Monovalent) கொண்டதாகவும், எதிர்முனைநோக்கு (Electro positive) உடையதாகவும் இருக்கின்ற உண்மை இதை உறுதிப்படுத்துகிறது.

ஹீலியம் (Z= 2)

இது இரண்டு எலெக்ட்ரான்களை உடையது. பௌலியின் கோட்பாட்டிற்கு ஏற்ப இவ்விரு எலெக்ட்ரான்களும் K மண்டலத்தில் குடிகொள்ளக்கூடும். நிறமாலையியல் குறிப்பு மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தக் குறிப்பு இவை அந்நிலை உண்மையே என்பதைக் காட்டுகின்றன. மேலும் அவ்விரு எலெக்ட்ரான்களும் அம் மண்டலத்தை நிறைவுறச் செய்கின்றன. ஆகவே ஹீலியம் மடக்குநிலை அட்டவணையில் முதல் மடக்கினை முடித்து வைக்கும், மந்த ஓரணு வாயு ஆகிறது (inerb monoatomic gas) ஆகவே இயல்பு நிலையில் உள்ள ஹீலியம் அணு $1s^2$ என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் கூடுதல் எண்ணிக்கை ($n=1$ மற்றும் $l=0$ ஆக உள்ள இரு எலெக்ட்ரான்கள்) Sன் உச்சியில்

குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. நிறைவுற்ற மண்டலத்தில் எலெக்ட்ரான்கள் பின்னி இணைக்கப்பட்டுள்ள (interlocked) என்பதை செவ்வக வடிவான அடைப்பு குறிப்பிடுகிறது. ஹீலியத்தின் பொறி நிறமாலை, (Spark Spectrum) தோற்றத்தில் ஹைட்ரஜன் வில்விளக்கு நிறமாலையைப் போன்று இருக்கிறது. கொள்கைப்படி நாம் எதிர்பார்க்க வேண்டுவதும் அப்படித்தான். ஏனெனில் பொறி நிறமாலையில் காணப்படும். ஒருமடங்கு அயனியாக்கப் பட்ட ஹீலியம் அணு, நேர்மின்னூட்டங்கொண்ட அணுக் கருவைச் சுற்றி வரும் ஒற்றை எலெக்ட்ரானை உடையதாக, ஹைட்ரஜனைப் போன்று (hydrogen like) அமைந்திருக்கும். ஆனால் ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளை ஒத்த ஹீலியம் நிறமாலை வரிகளின் அதிர்வு எண்கள், ஹைட்ரஜன் நிறமாலை வரிகளின் அதிர்வு எண்களைவிட அதிகமாக இருக்கின்றன. ஏனெனில் H_e த்தில் உள்ள வலுவுள்ள அணுக்கரு மின்னூட்டம் ஆற்றல் மட்டங்களைக் கீழ்நிலையிலேயே இருக்கச் செய்துவிடுகிறது.

லித்தியம் (Z=3)

இதில் மூன்று எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. இவ்வணுவின் ஆற்றலை சிறும அளவில் வைப்பதன் பொருட்டு அவ்வெலக்ட்ரான்களில் இரண்டு K மண்டலத்திலும் மூன்றுவது L மண்டலத்திலும் இடங் கொள்ளுகின்றன. நிறைவுறாத L மண்டலத்தில் உள்ள மூன்றுவது எலெக்ட்ரான் சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் (valency electron) எனப்படும். எனவே மின்னூட்டமற்ற இயல்பான நிலையில் உள்ள Li அணு $\boxed{1s^2}\,2s$ என்பதால் குறிப்பிடப் படுகிறது. மூன்றுவது எலெக்ட்ரான் $2p$ ஆகவோ அன்று வேறு ஏதாவதாகவோ இல்லாமல் $2s$ ஆகவே இருப்பதற்கு ஏற்றவாறு முதல் வீதி இருக்கிறது என்பதை லித்தியத்தின் ஒளியியல் நிறமாலைக் காட்டுகிறது. இந்த $2s$ சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் $1s^2$ எலெக்ட்ரான்களைவிட அதிகக் கட்டுப்பாடற்ற நிலையில் அதாவது மிகக் குறைந்த கட்டுண்ட நிலையில் இருக்கின்றது. Li ஓர் சேர் திறன் (monovalent) கொண்டதாகவும், எதிர் முனை நோக்குடையதாகவும் (electro positive) இருப்பதிலிருந்து இது தெளிவாகிறது. கார வகையைச் சேர்ந்த ஓர் எலெக்ட்ரான் அமைப்பிலிருந்து பெறக்கூடிய வகையினதாக, லித்தியத்தின் வில்விளக்கு நிறமாலை (are spectrum) அமைந்திருக்கிறது. லித்தியத்தின் ஒரு மடங்கு அயனியாக்கத்தின் விளைவாக உண்டாகும் பொறி நிறமாலை (spark spectrum) ஹீலியத்தின் வில்விளக்கு நிறமாலையைப் போன்றே இருக்கிறது.

சோடியம் ($Z = 11$) :

இதில் மொத்தத்தில் 11 எலெக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன. பௌலியின் கோட்பாட்டிற்கு ஏற்ப, அவற்றுள் 10 எலெக்ட்ரான்கள் நிறைவுற்ற K மற்றும் L மண்டலங்களில் முறை 2 மற்றும் 8 எலெக்ட்ரான்களாக குடிகொள்ளுகின்றன. எஞ்சியுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் மூன்றாவதாக உள்ள M மண்டலத்தில் இடங்கொள்ள வேண்டியிருக்கிறது. K மண்டலத்தில் உள்ள இரு எலெக்ட்ரான்களும் $1s^2$ என்பதால் குறிக்கப்படுகின்றன. L மண்டலத்தில் உள்ள 8 எலெக்ட்ரான்களில் 2 முதல் துணை மண்டலத்தில் ($l=0$) இருக்கும். எனவே $2s^2$ என்பதால் குறிக்கப்படுகின்றன. எஞ்சியுள்ள 6 எலெக்ட்ரான்கள் இரண்டாவது துணை மண்டலத்தில் ($l=1$) இருக்கின்றன. எனவே $2p^6$ என்பதால் குறிக்கப்படுகின்றன. M மண்டலத்தில் உள்ள கடைசி எலெக்ட்ரான் சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் ஆகும். ஆற்றல் ஆய்வுகள் மற்றும் நிறமாலைக் குறிப்புகளிலிருந்து இந்த எலெக்ட்ரான் S எலெக்ட்ரான் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே இது 3_s என்பதால் குறிக்கப்படுகிறது. இயல்பான நிலையில் உள்ள சோடியம் அணுவின் அமைப்பு $\boxed{1s^2 2s^2 2p^6}$ $3s$ என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. சோடியம் ஓர் சேர்திறனும், எதிர்முனை நோக்கும் கொண்டது என்னும் உண்மை இவ்வமைப்பினை உறுதிப்படுத்துகிறது.

மெக்னீஷியம் ($Z=12$) :

இது 12 எலெக்ட்ரான் கொண்டது. இதில் 10 எலெக்ட்ரான்கள் முதல் இரு மண்டலங்களில் இடங்கொள்கின்றன. எஞ்சியுள்ள இரு எலெக்ட்ரான்களும் மூன்றாவதாக உள்ள M மண்டடத்திற்குச் செல்ல நேரிடுகிறது. நிறைவுறாத இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள இரு எலெக்ட்ரான்களும் சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்களாகும். இவை மெக்னீஷியத்தை இரு சேர்திறன் கொண்டதாக ஆக்குகின்றன. இதன் வில்விளக்கு நிறமாலை மற்றும் பொறி நிறமாலை பற்றிய ஆய்வுகள் அவ்விரு எலெக்ட்ரான்களும் S எலெக்ட்ரான்கள் என்பதைக் காட்டுகின்றன. எனவே இயல்பான மெக்னீஷியம் அணு $\boxed{1s^2 2s^2 2p^6}$ $3s^2$ என்று குறிக்கப்படுகிறது.

அலுமினியம் ($Z=13$) :

முதல் இரு மண்டலங்களில் கட்டுண்டு கிடக்கின்ற 10 எலெக்ட்ரான்கள் போக மீதியுள்ள 3 எலெக்ட்ரான்கள் மூன்றாவதாகிய M மண்டலத்தில் இடங்கொள்ளுகின்றன. ஆகவே அலுமினியம்

மூன்று சேர்திறன் (trivaient) கொண்டதாக இருக்கிறது. ஆற்றல் பற்றிய ஆய்வுகளும், நிறமாலை ஆய்வுகளும் 11 வது மற்றும் 12-வது எலெக்ட்ரான்கள் S வகையைச் சேர்ந்தவை என்றும் 13-வது எலெக்ட்ரான் p வகையைச் சேர்ந்தது எனவும் காட்டு கின்றன. ஆகவே அலுமினியம் அணு $\boxed{1s^2 2s^2 2p^6}\ 3s^2 3p$ என் பதால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

காப்பர் (Z=29) :

இதிலுள்ள 29 எலெக்ட்ரான்களுள் 2 எலெக்ட்ரான்கள் K என்னும் முதல் மண்டலத்திலும், 8 எலெக்ட்ரான்கள் L மண்டலத் தின் இருதுணை மண்டலங்களிலும், 18 எலெக்ட்ரான்கள் மூன்ருவது M மண்டலத்தில் 2, 6, 10 என மூன்று துணை மண் டலங்களிலும், இடங் கொள்ளுகின்றன. எஞ்சியிருப்பது ஒரே ஒரு எலெக்ட்ராணுகும் இது சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் ஆகும். இது நான்காவதாகவுள்ள N மண்டலத்தில் இடங்கொள்ளுகிறது. எனவே காப்பர் ஒரு சேர்திறன் கொண்டதாக இருத்தல் வேண்டும். அதன் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு

$$\boxed{1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}}\ 4s \text{ ஆகும்.}$$

ஆகவே காப்பரின் வில்விளக்கு நிறமாலை (Copper arc Spectrum) Li, Na, போன்ற காரவகைகளுக்கு உரிய நிறமாலைகளைப் போல இருத்தல் வேண்டும். ஆனாலும் $3d$ என்னும் துணைமண்டலத்தை நிறைவுறச் செய்யும் கடைசி எலெக்ட்ரான் இலேசாகப் பிணைக்கப் பட்டிருக்கின்றது என்பதையும் ஆகவே எளிதாக வெளியே வந்து விடுகிறது என்பதையும் குறிப்பிட வேண்டியிருக்கிறது. ஆகவே காப்பர் இருவகை சேர்திறனைக் கொண்டிருக்கிறது இதை கூப்ரிக் ஆக்சைடு (CuO) மற்றும் கூப்ரஸ் ஆக்சைடு (Cu_2O) என இரு வகைக் கூட்டுப் பொருள்கள் (Compounds) இருப்பதிலிருந்து அறியலாம்.

தாலியம் (Z=81)

இதில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை 81 ஆகும். பௌலியின் கோட்பாட்டினைப் பயன்படுத்தியும், ஆற்றல் ஆய்வு களைக் கொண்டும் இயல்பான தாலியம் (Thallium) அணு பின் வருமாறு குறிப்பிடப்படுகிறது.

$$\underbrace{1s^2}_{K}\quad \underbrace{2s^2\,2p^6}_{L}\quad \underbrace{3s^2 3p^6 3d^{10}}_{M}\quad \underbrace{4s^2\,4p^6 4d^{10} 4f^{14}}_{N}$$

$$\underbrace{5s^2 5p^6 5d^{10}}_{O}\quad \underbrace{6s^2 6p}_{P}$$

ஆகவே, அதன் முதல் நான்கு மண்டலங்களும் நிறைவுற்றிருக்கின்றன. ஆனால் ஐந்தாவதாகிய O மண்டலம் நிறைவுறுவதற்கு முன்பாகவே ஆறுவதாகிய P மண்டலம் தோன்றிவிட்டது. இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள மூன்று எலெக்ட்ரான்களில் இரண்டு s எலெக்ட்ரான்களாகவும் ஒன்று p எலெக்ட்ரானாகவும் இருக்கின்றன. எனவே Te மூன்று சேர்திறன் (trivalent) கொண்டதாக இருக்கிறது.

மேற்கூறிய சில எடுத்துக்காட்டுகள் பல்வேறு தனிமங்களின் அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்களின் பங்கீட்டினைத் தெரிந்து கொள்வதற்குப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள முறைகளையும், சில அடிப்படைக் கோட்பாடுகளையும் விளக்க உதவியாக இருக்கும். மடக்குநிலை அட்டவணையில் உள்ள எந்தத் தனிமத்திற்கும் இதே முறைதான் பின்பற்றப் பட்டிருக்கிறது.

நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு

தேர்வு விதிகள் (Selection rules) :

ஓர் அணுவின் அணுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்களின் இயன்ற எல்லா இணைப்புகளும் (all possible combinations) உண்மையில் நிறமாலை வரிகளாகத் தோன்றுவதில்லை என்பது செயல் முறையில் அறிந்த ஒன்றாகும். இத்தகைய நிலைக்குக் காரணந் தருகின்ற குறிப்பிட்ட சில கோட்பாடுகள்தான் தேர்வு விதிகள் எனப்படுகின்றன.

பழைய அணு மாதிரிக்காக உண்டாக்கப்பட்ட முதல் தேர்வு விதி, முகட்டுவட்டை குவான்ட எண்ணாகிய $n\varphi$ (azimuthal quantum number) அல்லது K-ஐப் பற்றிக் குறிப்பிடுகிறது. அது $\Delta K = \pm 1$ ஆகும் என்பதை நாம் கண்டுள்ளோம். இது முதலில் செயலறி முறையின் அடிப்படையில் வாய்பாடாக்கப்பட்டது. பின்னர் அணுவால் உமிழப்படும் மின் காந்தக் கதிர்வீச்சு நிகழ்ச்சிக்கு, உந்த அழியா விதியைப் (conservation of momentum) பயன் படுத்தி ரூபினோவிக்ஸ் (Rubinowicz) என்பவரால் கொள்கையளவிலும் மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. என்றாலும் இந்த எளிய விதி போதுமானதாக இல்லையென்பது விரைவிலேயே தெரிந்தது.

ஏவரை அணு மாதிரியில் L-க்கு ஒன்றும் J-க்கு மற்றொன்றும் S-க்கு இன்னொன்றுமாகத் தேர்வு விதிகள் உண்டாக்கப்பட்டன.

(a) **'L'-க் கான தேர்வு விதி** (The selection rule for L):

செய்முறையில் காணப்பட்ட நிறமாலை வரிகளில் பல, ஆற்றல் நிலைகளுக்கு இடையே ஏற்படும் இடமாற்றங்களால் (transitions) உண்டாகின்றன. அம் மாற்றங்களில் எலெக்ட்ரான் ஒரு வீதியிலிருந்து மற்றொரு வீதிக்குத் தாவுகிறது. அப்போது $\triangle L = \pm 1$ ஆக இருக்க வேண்டும் என்பது தேர்வு விதியாகும். அதாவது எந்தெந்த வரிகளுக்கு L-ன் மதிப்பு ± 1 ஆக மாறுகிறதோ அவை மட்டும் தென்படுகின்றன.

(b) **J-க் கான தேர்வு விதி** (The selection rule for J):

$\triangle J = \pm 1$ அல்லது 0 ஆகவுள்ள நிலைகளுக்கு இடையே இடமாற்றங்கள் நிகழும்போது மட்டுமே நிறமாலை வரிகள் தோன்றுகின்றன. எனினும் 0-விருந்து 0-க்கு ஏற்படும் மாற்றம் நீக்கப்பட்டுள்ளது.

(c) **S-க் கான தேர்வு விதி** (The selection rule for S):

$\triangle S = 0$ என்பது இவ் விதியாகும். இதிலிருந்து வெவ்வேறு S கொண்ட நிலைகள் ஒன்றோடொன்று இணைவதில்லை. எனினும் கொள்கை மற்றும் செய்முறைகள் அணு எண் அதிகமாக அதிகமாக இவ் விதி பின்பற்றப்படுவதில்லை என்பதைக் காட்டுகின்றன. எனவே இது இலேசான அணுக்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தி வருகிற ஒரு தோராய விதியே ஆகும்.

குறிப்பு: காந்தப் புலத்தில், வீதி வழி காந்த வரையறை எண் மாறாமலோ அல்லது ± 1 அளவு மாறவோ செய்கிறது. அதாவது $\triangle m_l = 0$ அல்லது ± 1 ஆகும். சுழற்சி காந்த வரையறை எண்ணாகிய m_s மாறாமல் இருக்கிறது. அதாவது $m_s = 0$ இதன் காரணமாக $\triangle m_j = 0$ அல்லது ± 1 ஆகிறது.

ஒளியியல் நிறமாலைகள், எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் மற்றும் சீமன் விளைவு போன்றவற்றின் ஆய்வுகளில் இவ் விதிகள் செயலறிமுறைகளின் அடிப்படையில் (empirical basis) தான் முதலில் புகுத்தப்பட்டன. பின்னர் அலைவிசையியல் (wave mechanics) முறை ஒன்றினால் பெறப்பட்டன. ஆகவே இவ் விதிகள் நிலையான கொள்கை அடிப்படையில் நிறுவப்பட்டுள்ளன.

காணப்பட்ட நிறமாலை தொடர்களைத் தக்க குவான்ட எண்களுக்குப் பிரித்தளிப்பதில் இவ் விதிகள் நன்கு உதவுகின்றன. அவ் விதிகளின் உதவியால், இயல்பான, சிக்கல் மிகுந்த பலவரி அமைப்பு (natural complex mutiplet lines) மற்றும் அத்தகைய வரிகளின் சீமன் விளைவு ஆகியவைகளுக்கு ஆற்றல் மட்டப் படங்களை (energy level diagrams) வரையலாம்.

இவ் விதிகளுக்கு உட்படாத மாற்றங்களும் சில நேரங்களில் நிகழ்கின்றன. அவ் வரிகள் தடை செய்யப்பட்ட வரிகள் (forbidden lines) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவ் வரிகளின் செறிவு இயல்பான வரிகளின் செறிவுடன் ஒப்பிட மிக மங்கலாக இருக்கிறது.

செறிவு விதிகள் (Intensty rules) :

தேர்வு விதிகளுக்கு உதவியாகச் செறிவு விதிகள் செய்யப்பட்டன. இவ் விதிகளைக் கொண்டு காணப்படும் வரிகளின் செறிவினை அளவிடுவதே இவைகளின் நோக்கமாகும். முதலில் இவை ஒளியியல் நிறமாலை மற்றும் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகளில் செயலறி முறைகளின் அடிப்படையில் செய்யப்பட்டன. பின்னர் அலை விசையியல் அடிப்படையில் முழுமையான கொள்கையளவு விளக்கம் பெற்றன.

செறிவு விதிகளாவன :

(a) L மற்றும் J ஆகியவை ஒரே வகையில் மாறுதல் அடையும் வகையில் அமைகின்ற வலுவுள்ள இடமாற்றங்களினால் செறிவுள்ள வரிகள் தோன்றுகின்றன. L மற்றும் J ஆகியவைகளின் மாற்றங்களின் போக்கு எத்தனைக் கெத்தனை மாறுகிறதோ அத்தனைக்கத்தனை இடமாற்றங்கள் வலிவற்றதாக இருக்கும்.

(b) இறங்குகின்ற போக்கில் (decreasing Sensc) அமைந்த $(L \rightarrow L-1)$ இடமாற்றம் ஏறுகின்ற போக்கில் (increasing sense) அமைந்த $(L \rightarrow L+1)$ இடமாற்றத்தை விட வலுள்ளது.

(c) பொதுவாக எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையிலோ அல்லது இரட்டை வரி (doublet) நிறமாலையிலோ எதிர் எதிர் திசையில் அமையும் இடமாற்றங்கள் நிகழ்வது இல்லை. ஏனெனில் அது (J—L) ஆரம்ப நிலையைக் காட்டிலும் இரண்டு அலகு அதிகமாய் இருக்கக் கூடிய ஓர் இறுதி நிலைக்கு இட்டுச் சென்றுவிடும். இது மறுக்கப்பட்ட ஒன்றாகும்.

ஆகவே பின்வரும் நிகழ்ச்சிகளை நாம் வேறுபடுத்தி உணர முடியும் :

$\triangle L=-1, \ \triangle J=-1$: மிகச் செறிவுள்ள வரி (a)
$\triangle L=-1, \ \triangle J=0$: குறைந்த செறிவு (a)
$\triangle L=+1, \ \triangle J=+1$: மங்கலான வரி (b)
$\triangle L=+1, \ \triangle J=0$: மிகமிக மங்கலானது (a) மற்றும் (b)
$\left.\begin{array}{l}\triangle L=-1, \ \triangle J=+1 \\ \triangle L=+1, \ \triangle J=-1\end{array}\right\}$: வரி தோன்றுவதில்லை (c)

குறிப்பு : ஒரு பல்வரி அமைப்பின் (multiplet) J உறுப்பில் (term) தொடங்குகின்ற அல்லது முடிகின்ற எல்லா வரிகளின் கூடுதல் செறிவு (2J + 1)க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் என்று கொள்கை வாயிலாகவும், செய்முறை வாயிலாகவும் மெய்ப்பிக்கப் பட்டுள்ளது.

இடைவெளி விதி (The interval rule) :

ஒரு பல்வரி அமைப்பினைத் (multiplet) தோற்றுவிக்கும் பல்வேறு மட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள அதிர்வு எண் இடைவெளி (frequency interval) பற்றிய விதி ஒன்றினை லாண்டே (Lande) என்பார் கண்டுபிடித்தார். இவ் விதி லாண்டேயின் இடைவெளி விதி (Lande's interval rule) எனப்படும். முறையே (J + 1) மற்றும் J என்னும் கூடுதல் கோண மோதப்பாடுடைய (Total angular momentum) இரு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள அதிர்வு எண் இடைவெளி (frequency interval) (J + 1)க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் என்று அவ் விதி கூறுகிறது.

எனினும் மேற்கூறிய இடைவெளி விதிக்கு கட்டுப்படாத பல நிகழ்ச்சிகளும் உண்டு முக்கியமாக L-S வகை இணைப்பு அல்லது j-j இணைப்பு இவை இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட இணைப்பு இருக்கையில் முரண்பாடு காணப்படுகிறது.

நிறமாலை உறுப்புகள் (Spectral terms) :

அணு ஓர் ஆற்றல் நிலையிலிருந்து மற்றொரு ஆற்றல் நிலைக்குப் பெயர்ந்து செல்வதால் நிறமாலை வரி ஒன்று தோன்று கிறது. ஆகவே நிறமாலை வரியின் நுண்ணமைப்பினை விளக்கு வதற்கு, இயன்ற பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளைக் கணக்கிடுவதி லிருந்து தொடங்குதல் வேண்டும். பின்னர்த் தகுந்த தேர்வு விதிகளைப் பயன்படுத்தி எந்த இரு நிலைகளுக்கு இடையே மாற்றம் நிகழ்கிறதோ அவைகளைத் தேர்ந்து எடுத்தல் வேண்டும். இத்தகைய இடமாற்றங்கள் நுண்ணமைப்பினை விளக்கும்.

ஓர் அணுவில் எந்த இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கு இடையே இடமாற்றம் ஏற்படுகின்றதோ அந்த ஆற்ற நிலைகள் நிறமாலை உறுப்புகள் (spectral terms) என்னும் பெயரால் அழைக்கபபடு கின்றன. எனவே நுண்ணமைப்புப் பிரச்சினை என்பது நிறமாலை உறுப்புகள் பற்றிய பிரச்சினையே ஆகும். பிந்திய பிரச்சினையைத் தெளிவாக்கிவிட்டால் முந்தியது தானுகவே தெளிவாகிவிடும். எனவே நுண்ணமைப்பு நிகழ்ச்சிக்கு ஏவரை அணு மாதிரியைப் பயன்படுத்த வேண்டுமானுல், முதலில் இதில் வருகின்ற நிறமாலை

உறுப்புகள் வரையறை செய்வதற்கு ஏவரை அணு மாதிரியை எவ் வழியில் பயன்படுத்தலாம் என்பதைக் காணுதல் வேண்டும்.

ஒளியியல் நிறமாலையில் காணப்படும் நுண்ணமைப்பு மற்றும் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை நுண்ணமைப்பு ஆகிய இரு நிகழ்ச்சிகளிலும் வெவ்வேறு குறியீடுகள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளமையால், தெளிவு கருதி அவைகளைத் தனித்தனியாக ஆய்வோம்.

ஒளியியல் நிறமாலைகள்

நிறமாலை உறுப்புகள் :

வெக்டார் அணு மாதிரியைக் கொண்டு நிறமாலை உறுப்புகளை வகைப்படுத்துவதில், அணுக்களை ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (one electron system) என்றும் பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு (many electron system) என்றும் இருவகையாகப் பிரித்துக் கொள்வது நல்லது.

முதற் பிரிவினைச் சேர்ந்த அணுக்கள் ஒரே ஒரு சேர்திறன் எலெக்ட்ரான் அல்லது ஒளியியல் எலெக்ட்ரானைப் (valence or optical electron) பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டு: ஹைட்ரஜன் மற்றும் ஹைட்ரஜனைப் போன்ற அமைப்புடைய கார வகை அணுக்கள் இப் பிரிவினைச் சேர்ந்த அணுக்களில் உண்மையில் பல எலெக்ட்ரான்கள் இருந்தாலும் ஒன்றைத் தவிர மற்றவைகள் நிறைவுற்ற மண்டலங்களில் பிணைப்புண்டு இருக்கின்றன. எனவே அவை பௌலியின் கோட்பாட்டின்படி அணுவின் கூடுதல் கோண மோதப் பாடிற்கு ஏதும் தருவதில்லை. எனவே அணுவின் நிறமாலைப் பண்புகளை நிர்ணயிப்பதில், இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள, கட்டற்ற ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரான் மட்டுமே பங்கு கொள்கிறது.

இரண்டாவது பிரிவினைச் சேர்ந்த அணுக்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சேர்திறன் எலெக்ட்ரான்களை — அதாவது நிறைவுற்ற மண்டலங்களில் பிணைப்புறாத கட்டற்ற பல எலெக்ட்ரான்களை — கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே அவை அணுவின் கூடுதல் கோண உந்தத்திற்குத் (totale angular momentum) தங்கள் பங்கினைத் தருகின்றன. எனவே நிறமாலைப் பண்புகளை நிர்ணயம் செய்வதில் பங்கு கொள்ளுகின்றன. இரு எலெக்ட்ரான்கள் அமைப்புச் சேர்ந்த புவிக்காரங்கள் (Alkaline earths) மூன்று எலெக்ட்ரான் அமைப்பைச் சேர்ந்த அலுமினியம், ஸ்கேண்டியம் (Scandium) போன்றவை, நான்கு எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைச் சேர்ந்த டைட்டேனியம் (Titanium) ஆகியவை இரண்டாம் பிரிவுக்கான எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினை எடுத்துக்கொள்ளு வோம். முழு அணுவின் நிலையைக் கட்டற்ற இந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரானின் நிலையைக் கொண்டு நிர்ணயிப்பதால், எலெக்ட் ரானின் நிலையைக் குறிக்கும் l, s மற்றும் j என்பன முழு அணு வையும் வரையறுக்கும் L, S மற்றும் J இவைகளுக்குச் சமமாகும். எனவே $S=s=\pm\frac{1}{2}$, மற்றும் நிலைகளின் பெருக்கம் (multiplicity of States) $r=(2S+1)=2$ ஆகும். ஆகவே இவ்வமைப்பு இயல் பான நிலையில் அதாவது $L=0$ ஆகவுள்ள அணுவுக்கு உரிய கீழ்நிலை உறுப்பு (ground term) ஒன்றைத் தவிர மற்றவைகளுக்கு இரட்டைவிதி உறுப்புகளையே (Doublet terms) தோற்றுவிக்கிறது. ஏனெனில் எடுத்துக்கொண்ட நிகழ்ச்சியில் J-க்கு இருக்கக்கூடிய மதிப்புகள் $J=L+\frac{1}{2}$ மற்றும் $J=L-\frac{1}{2}$ ஆகிய இரு மதிப்பு களே ஆகும். இதில் $L=0$ என்றால் $J=\pm\frac{1}{2}$ ஆகும். ஆனால், அணுவின் கூடுதல் கோண உந்தம் எப்போதுமே நேர் அளவு (Positive quantity) ஆகையால், இந் நிகழ்ச்சியில் J-க்கு உள்ள ஒரே மதிப்பு $J=+\frac{1}{2}$ மட்டுமே ஆகும். இதிலிருந்து ஒற்றை வரி (Singler) மட்டுமே தோன்றும் என்பது தெரிகிறது. $L=1$ என்றால் $J=1\pm\frac{1}{2}$ அதாவது $\frac{3}{2}$ அல்லது $\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே இரட்டைவரி அமைப்பு தோன்றுகிறது. $L=2$ ஆகும்போது $J=2\pm\frac{1}{2}$ அதாவது $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ ஆகவே இருவரி அமைப்பு ஏற்படும். இவ்வாறு இருவரி அமைப்புகள் தோன்றுகின்றன.

ஆனால் பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் அணுவின் நிலை, கட்டற்ற பல எலெக்ட்ரான்களின் நிலைகளால் நிர்ணயிக்கப்படு கிறது. எனவே அணுவின் நிலையை வரையறுக்கும் L, S மற்றும் J என்னும் ஏவரைகள் (vectors) முறை அந்த எலெக்ட்ரான்களின் L, s மற்றும் j ஏவரைகளின் கூட்டு விளைவு (resultant) ஆகும். எனவே S-ன் மதிப்பு எப்போதுமே $\frac{1}{2}$ ஆகவே இருக்காது. கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, அவைகளின் திசையமைப்பு—இணை அல்லது மாற்றிணை—இவைகளுக்கு ஏற்ப 0, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$, 2......... என்னும் மதிப்புகளைப் பெறும் r என்னும் பெருக்கம் எல்லா நிகழ்ச்சிகளுக்கும், இப்போது இரண்டாகவே இருக்காது. $S=0$ ஆக இருக்கையில் 2 ஆகவும், $S=1$ ஆகும் போது 3 ஆகவும், $S=\frac{3}{2}$ ஆகும்போது 4 ஆகவும், $S=2$ ஆகும் போது 5 ஆகவும் இவ்வாறே பல மதிப்புகளைப் பெறுகிறது. இவ்வாறு, கொடுக்கப்பட்ட ஒரு L-ன் மதிப்பிற்கு இருக்கக்கூடிய J-ன் மதிப்புகள் ஒன்று, இரண்டு, மூன்று நான்கு......... என்று இருக்கலாம். இதிலிருந்து ஒவ்வொரு நிலையும் ஓர் ஒற்றைவரி அமைப்பாகவோ அல்லது பல்வரி அமைப்பாகவோ (Singler or multipler) இருக்கும் என்பதை அறிகிறோம்.

இரு எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் S=0 அல்லது 1 ஆக இருப்பதால் அந்நிலை ஒற்றைவரி அமைப்பாக அல்லது மூவ்வரி அமைப்பு (triplet) ஆக இருக்கும். மூன்று எலெக்ட்ரான்கள் அமைப்பில் $S=\frac{1}{2}$ அல்லது $\frac{3}{2}$ ஆகையால் ஒவ்வொரு நிலையும் ஓர் இரட்டை வரி அமைப்பு அல்லது நான்குவரி அமைப்பாக (quartet) இருக்கக்கூடும். நான்கு எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் S=O, 1, அல்லது 2 ஆகையால் ஒற்றைவரி அமைப்பு மூவ்வரி அமைப்பு ஐந்துவரி அமைப்புகளாக (quinted) இருக்கக்கூடும். பொதுவாக ஒற்றைப்படை எலெக்ட்ரான் அமைப்புகள் இரட்டைப்படை வரி அமைப்புகளையும் இரட்டைப்படை எலெக்ட்ரான் அமைப்புகள் ஒற்றைப்படை வரி அமைப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. இதன்படி மடக்குநிலை அட்டவணையிலுள்ள அடுத்தடுத்துள்ள தனிமங்களின் நிறமாலை உறுப்புகள் ஒற்றைப் படை வரி அமைப்புகளாகவும், இரட்டைப்படை வரி அமைப்பு களாகவும் மாறி மாறி வருகின்றன.

ஆனல் இந்த அமைப்பிலும் கீழ்நிலை உறுப்பு எப்போதும் ஒற்றை வரி அமைப்பாகவே இருக்கிறது. ஏனெனில் இது L=0 மற்றும் J=S என்பதற்கு உரியது. S என்பது 0, $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$...... போன்ற மதிப்புகளைப் பெற முடியுமாதலால் S ஒரு போதும் L-ஐ விடச் சிறியதாக இருப்பதில்லை. S=L=O என்பதற்கு J-க்கு இருக்கக்கூடிய மதிப்பு ஒன்று ஆகும். S > L ஆக இருக்கும்போது நிலைப்பெருக்கம் (2L+1) என்பதிலிருந்து கிடைக்கிறது. இதிலிருந்து J பெறக்கூடிய மதிப்பு ஒன்று என்ருகிறது.

பௌலியின் கோட்பாட்டினுல் உறுப்புப் பெருக்கத்தில் ஏற்படும் எல்லை (Limitations of term multiplicity due to Pouli's principle) :

ஓர் அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை நோக்க பெருக்கத்தின் பெரும மதிப்புகளாகிய (2 S + 1) மதிப்புகளை ஒரு போதும் அடைய முடியாதவாறு பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாடு தடைசெய்து விடுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக L மண்டலத்தில் 6 எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள அணு ஒன்றை எடுத்துக் கொள்வோம். அதில் உள்ள ஆறு எலெக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சிகளின் எல்லாம் ஒரு திசையானவை. ஆகவே s-ன் மதிப்பு $(6 \times \frac{1}{2}) = 3$ எனக்கொண்டு, $r = (2s + 1)$ என்னும் பெருக்கத்தின் பெரும எண்ணிக்கை 7 ஆகும் என முதலில் எண்ணுகிறேம். ஆனல் பௌலியின் கோட்பாட்டிற்கு முரண்படாது அத்தகைய ஓர் அமைப்பு இருக்க முடியாது. ஏனெனில் இங்கு $n = 1$ $l = 0$ மற்றும் 1 ஆகும். m_l என்பது $l = 0$ என்

பதற்கு ஏற்ப 0ஐயும் $l = 1$ என்பதற்கு ஏற்ப 1, 0, — 1 ஆகிய நான்கு மதிப்புகளை மட்டுமே பெற இயலும் m_l-ன் இந்த நான்கு மதிப்புகளை m_s-ன் ஒரேவகையான (எல்லாம் $+\frac{1}{2}$ ஆகவோ அல்லது $-\frac{1}{2}$ ஆகவோ உள்ள) ஆறு மதிப்புகளுட னும் தொடர்புபடுத்தினல் கீழே காட்டியுள்ளவாறு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் ஒரே மாதிரியான வரையறை எண் களைப் பெறவேண்டி வந்துவிடும்.

L_I $(n = 2, l = 0)$	L_{II} $(n = 2, l = 1)$
$m_l = 0$	$+1, 0, -1$
$m_s = +\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$

சரியான அமைப்பாவது.

$m_l = 0$	$+1, 0, -1$
$m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

எனவே ஆறு எலெக்ட்ரான்களுள் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே ஒரு வகையான சுழற்சியைக் (அதாவது m_s-க்கு ஒரே வித குறியின்) கொண்டிருக்கும். மற்ற இரு எலெக்ட்ரான்கள் எதிர்த்திசையில் சுழற்சியைக் கொண்டிருக்கும். இதன் விளைவாக S என்பதன் மதிப்பு ஒன்று ஆகிறது. இதிலிருந்து உண்மையில் கிடைக்கும் பெருக்கம் 3 என்ருகிறது. ஒன்றன்பின் ஒன்ருக எலெக்ட்ரான்கள் சேர, மண்டலம் மெள்ள மெள்ள நிரம்புவதால் பெருக்கம் முதலில் அதிகமாகிறது. பின்னர் குறைகிறது என்பது மற்றுமொரு கண்டுபிடிப்பு ஆகும். இத்தகைய மாற்றம் மண்ட லத்தின் மையத்தை வைத்துச் சமச்சீரமைவு கொண்டதாக இருக்கிறது.

நிறமாலை உறுப்புகளுக்கான குறியீடுகள் (Notations of spectral terms)

L ஏவரையின் மதிப்பு 0, 1, 2, 3, 4……… என உள்ள அணுவின் நிலைகள் (states of atom) முறையே S, P, D, F, G என்னும் பெரிய எழுத்துகளால் குறிப்பிடப்படுகின்றன. அந் நிலைக்குரிய J-ன் மதிப்பு இவ்வெழுத்துக்களுக்குப் பின்ஞல்

வரும் கீழ் இலக்கமாகவும் (sub script) அந் நிலையின் பெருக்கமாகிய r இடது பக்கத்தில் எழுதப்படும் மேலிலக்கமாகவும் (super script) எழுதப்படுகின்றன. இவ்வாறு $L=1$ மற்றும் $S=\frac{1}{2}$ என்பதற்குரிய நிறமாலை உறுப்புகள் $^2P_{\frac{1}{2}}$ மற்றும் $^2P_{\frac{3}{2}}$ என்பவைகளால் குறிக்கப் படுகின்றன. ஏனெனில் $L=1$ ஆகையால் இந் நிலையைக் குறிக்கும் பெரிய எழுத்து P ஆகும். இந் நிலையின் பெருக்கம் $r=(2\times\frac{1}{2}+1)=2$ ஆகும். இது மேலிலக்கமாக எழுதப்பட் டுள்ளது. $J=L\pm\frac{1}{2}=1\pm\frac{1}{2}$ அதாவது $\frac{1}{2}$ அல்லது $\frac{3}{2}$ ஆகையால் இவை கீழிலக்கமாக எழுதப்பட்டுள்ளன.

மற்ெறாரு எடுத்துக்காட்டு : $^4D_{\frac{5}{2}}$ என்பது $L=2$, $J=\frac{5}{2}$ பெருக்கம் $r=4$ ஆகவே $S=\frac{3}{2}$ (இது $r=(2S+1)$ என்பதிலிருந்து பெறப்பட்டது) எனக் கொண்ட நிலைக்கு உரிய நிறமாலை உறுப் பினைக் குறிப்பிடுகிறது. J-க்கு கிடைக்கக் கூடிய மதிப்புகள் $\frac{7}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{1}{2}$ என்பன ஆகையால் மேற்கூறிய குறியீடு குறிப்பிட்ட அந் நிலையின் நான்கு உறுப்புகளில் ஒன்றை மட்டுமே குறிக் கிறது.

ஒற்றை-எலெக்ட்ரான் அமைப்பைச் சேர்ந்த அணுக்களில் ஒவ்வொரு நிலையும் இரட்டை வரி அமைப்பு உடையது ஆதலால் இவ்வணுக்களில் உள்ள நிறமாலை உறுப்புகளுக்கு $^2S_{\frac{1}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$, $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2D_{\frac{5}{2}}$, $^2F_{\frac{5}{2}}$, $^2F_{\frac{7}{2}}$...... என்பன குறியீடுகளாகும்.

பல எலெக்ட்ரான் அமைப்புகளுக்குரிய குறியீடுகள் அதிகச் சிக்கலுடைய ஆனால் தேவையான குறிப்புகள் கிடைத்தால் அவைகளை எளிதில் எழுதிட இயலும்.

ஓர் அமைப்பின் பெருக்கக் குறியீடு (multiplicity symbol of a system) எல்லா உறுப்புகளுக்கும், அவை அத்தனையும் தோன்று விட்டாலும் கூட, பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதை நினைவில் வைத்தல் வேண்டும். இவ்வாறு கார வகை அணுக்களின் (Alkali atoms) கீழ்நிலை உறுப்பு (ground term), அதன் பெருக்கம் ஒன்று என்றாலும் கூட அது $^2S_{\frac{1}{2}}$ என்றுதான் எழுதப்படுகிறது. பிழை யறச் சொல்ல வேண்டுமென்றால் அதை $^1S_{\frac{1}{2}}$ என்றுதான் எழுத வேண்டும். ஆனால் கீழ்நிலை உறுப்பு எந்த அமைப்பினைச் சேர்ந்தது எனக் குறிப்பிடுவதில் இம் முறை பயனுள்ளதாக இருக் கிறது. எடுத்துக்காட்டாக மேற் கூறிய நிகழ்ச்சியில் கீழ்நிலை

உறுப்பு பொதுவாக இரட்டை வரி அமைப்புகளைத் தருகின்ற ஒற்றை எலெக்ட்ரான் வகையினைச் சேர்ந்தது.

இதைப் போன்றே, ஆற்றல் அளவினைக் கணக்கிடுவதற்குத் தேவையான n என்பது நிறமாலை உறுப்புகளை உருவாக்குவதில் பயன்படுத்தப்படவில்லை. ஆதலால், L, S மற்றும் J ஆகிய ஏவரைகளை மட்டும் உடைய ஏவரை அணு மாதிரியைக் கொண்டு பல்வேறு நிறமாலை உறுப்புகளுக்கு உரிய ஆற்றல் அளவுகளைக் கணக்கிட முடியாது என்பதையும் அவசியம் குறிப்பிட்டாக வேண்டியிருக்கிறது.

எனினும் L, S மற்றும் J ஆகிய மூன்று ஏவரைகளும், பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளைத் திட்பமாக வரையறுக்கின்றன. எனவே n-ன் உதவி இல்லாமலேயே, பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையில் என்னென்ன மாற்றங்கள் அனுமதிக்கப்பட்டுள்ளன என்பதை யூகிக்கவும், ஆகவே என்னென்ன நிறமாலை வரிகள் கிடைக்கும் என்பதை அறிவதற்கும் மேற் கூறிய ஏவரைகளைப் பயன்படுத்தலாம்.

நுண்ணமைப்பு (Fine Structure) :

அணு ஒரு நிறமாலை உறுப்பிலிருந்து மற்றொரு உறுப்புக்கு மாறிச் செல்வதால் நிறமாலை வரிகள் தோன்றுகின்றன. எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட அணு நிலைக்கு (atomic state) L என்னும் ஏவரையால் வரையறுக்கப்படும் பல நிறமாலை உறுப்புகள் இருப்பதால், எவ்வாறு சிக்கல் மிகுந்த வரிகள் தோன்றக்கூடும் என்பதை எளிதாகப் புரிந்து கொள்ளலாகும்.

ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைச் சேர்ந்த அணுக்களில் கீழ்நிலை (ground state) நீங்கலாக மற்ற நிலைகள் எல்லாம் இரட்டை வரி (doublet) நிலைகளாகும். இத்தகைய இரட்டை வரி நிலைகளுக்கு இடையே ஏற்படும் மாற்றங்கள் நுண்ணமைப்பினை (fine structure) உண்டாக்குகின்றன. நாம் காணுகின்ற நுண்ணமைப்பு வரிகளின் எண்ணிக்கை, செறிவு போன்றவைகளை முழுதுமாகக் கூறுவதற்குத் தேர்வு விதி, செறிவு விதி ஆகியவைகளையும் கவனிக்க வேண்டும்.

பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைச் சேர்ந்த அணுக்களின், நுண்ணமைப்பு, அதிக எண்ணிக்கையுள்ள உறுப்புகளின் காரணமாக மேலும் சிக்கல் நிறைந்ததாக இருக்கும். என்றாலும் இங்கும் நிறமாலை உறுப்புகளை அறிந்து தேர்வு விதி மற்றும் செறிவு விதிகளைப் பயன்படுத்தி நுண்ணமைப்பினை விளக்கிக் கூற

முடியும். நிறைவுற்ற மண்டலங்களின் தனிப் பண்புகள் காரணமாக, நிறமாலைகளைத் தருகின்ற கட்டற்ற எலெக்ட்ரான்கள் (free electrons) மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையுடையனவாகி விடுகின்றன. எனவே, மடக்கு நிலை அட்டவணையின் ஒரு கோடியிலிருந்து மறு கோடிக்குச் செல்லும் போது, நுண்ணமைப்பின் சிக்கல் அதிகரித்துக் கொண்டே போவதில்லை. தேர்வு விதிகளும், நுண்ணமைப்பின் சிக்கலுக்கு ஓர் எல்லையை உண்டாக்கி விடுகின்றன. இவ்வாறே பௌலியின் நீக்கல் கொள்கை, நிறமாலை உறுப்புகளின் எண்ணிக்கைக்கு ஏற்படுத்தும் எல்லைகளினுல் இச் சிக்கலை மேலும் குறைக்கக்கூடும்.

எடுத்துக்காட்டாக முன்பே நாம் கூறி உள்ள இரு எளிய நிகழ்ச்சிகளுக்கு —சோடியத்தின் D வரி மற்றும் ஹைட்ரஜனின் $H\alpha$ வரி — அவைகளின் நுண்ணமைப்புக்கு விளக்கம் தரும் வகையில் இக் கொள்கைகளைப் பயன்படுத்திப் பார்ப்போம்.

சோடியம் D-வரியின் நுண்ணமைப்பு :

இயல்பான சோடியம் அணுவின் 11 எலெக்ட்ரான்களில் 10 எலெக்ட்ரான்கள் நிறைவுற்ற மண்டலங்களில் கட்டுண்டு கிடக்கின்றன என்று முன்பே கண்டோம். கட்டற்ற பதினொன்ருவது எலெக்ட்ரான் தான் நிறமாலையைத் தருகிறது. நிறைவுற்ற அவ்விரு மண்டலங்களுக்கு அப்பால் இந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரான் இடங்கொள்ளக் கூடிய பல்வேறு விதிகளிலிருந்துதான் நிறமாலை வரிகள் தோன்றுகின்றன அணுவின் நிலை இந்த ஓர் எலெக்ட்ரானின் நிலையால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இதனுல்தான் சோடியம் அணுவின் கீழ்நிலை நீங்கலாக மற்ற நிலைகள் எல்லாம் இரட்டை வரி நிலைகளாக இருக்கின்றன.

போரின் எளிய கொள்கையைக் கொண்டு D-வரிகள் P நிலையிலிருந்து S நிலைக்கு ஏற்படும் மாற்றங்களினுல் உண்டாகும் முதன்மைத் தொடரினைச் (principal series) சேர்ந்தன என்பது முன்பே காட்டப்பட்டது. இப்போது P நிலைக்கு $L=1$, $J=\frac{3}{2}$ அல்லது $\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ என்னும் இரு உறுப்புகள் இருக்கக்கூடும் கீழ் S நிலைக்கு $L=0$, $J=\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே $^2S_{\frac{1}{2}}$ என்னும் ஒரே ஒரு உறுப்புதான் இருக்கலாம்.

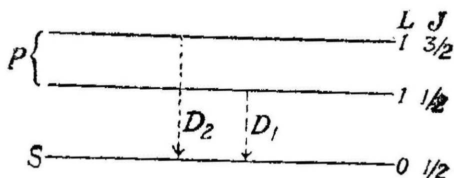
P நிலையின் இரு உறுப்புகளுக்கும் S நிலையின் ஒற்றை உறுப்பிற்கும் இடையே ஏற்படக்கூடிய மாற்றங்கள் இரண்டே ஆகும்.



$$^2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow {}^2S_{\frac{1}{2}} \text{ மற்றும் } {}^2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow {}^2S_{\frac{1}{2}}$$

இங்குத் தேர்வு விதிகளைப் பயன்படுத்த $\triangle L = \pm 1$ மற்றும் $\triangle J = 0$ அல்லது ± 1 ($0 \rightarrow 0$ நீங்கலாக) இவ்விரு மாற்றங்களும் அனுமதிக்கப்படுகின்றன. இது சோடியம் D வரியின் இரட்டை வரி அமைப்பினை விளக்குகிறது.

D_1 என்னும் ஆக்கக்கூறு (Component) (5896A° கொண்டது) $^2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}$ என ஏற்படும் மாற்றத்தாலும் D_2 என்னும் ஆக்கக் கூறு (5890 A°) $^2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow {^2S_{\frac{1}{2}}}$ என்றும் மாற்றத்தாலும் ஏற்படு



படம் 170.

கின்றன. (படம் 170) பொதுவான செறிவு விதிகளின்படி, D_2 என்பது D_1-ஐ விட அதிகச் செறிவு உள்ளதாக இருக்கும். ஏனெனில் D_2-க்கு $\triangle L = -1$ மற்றும் $\triangle J = -1$ ஆகும். ஆனால் D_1-க்கு $\triangle L = -1$ மற்றும் $\triangle J = 0$.

முழுச் செறிவு விதி (Total intensity rule) யைப் $(2J + 1)$ பயன்படுத்தி D_2 மற்றும் D_1 ஆகியவைகளின் செறிவு விகிதம் 2 : 1 எனக் காட்டலாம். இது நடைமுறை உண்மையால் உறுதி செய்யப்பட்டுள்ளது.

குறிப்பு :— சோடியத்தின் மற்றத் தொடர்களில் உள்ள வரிகளின் நுண்ணமைப்புத் தெளிவான தொடர்கள் (Sharp Series), S மற்றும் P நிலைகளுக்கு இடையே உண்டாகும் மாற்றங்களால் விளைவது ஆதலால் அதிலுள்ள வரிகள் முதன்மைத் தொடரின் (Principal Series) வரிகளைப் போலவே இரட்டைவரி அமைப்புகளாக இருக்கும்.

மங்கலான தொடர் (diffuse series) D மற்றும் P நிலைகளுக்கு இடையில் ஏற்படும் மாற்றங்களால் விளைவது ஆதலால் அதிலுள்ள வரிகள் முவ்வரி (triplet) அமைப்புகளாகும். ஏனெனில் ஒவ்வொரு நிலையும் $D_{\frac{5}{2}}$ மற்றும் $D_{\frac{3}{2}}$, $P_{\frac{3}{2}}$ மற்றும் $P_{\frac{1}{2}}$ என்னும் துணை உறுப்புகளை (Sub Terms)க் கொண்டுள்ளன. ஆகவே நான்கு விதமான மாற்றங்கள் நிகழ இடமிருக்கிறது.

$$D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}},\ D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}},\ D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}},\ \text{மற்றும்}\ D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}.$$

இவற்றில் $D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$ என்பது நடைபெற இயலாது. ஏனெனில் இம் மாற்றத்தில் $\triangle J = 2$ ஆகிறது. $D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}}$ மற்றும் $D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$ என்னும் வரிகள் செறிவுமிக்கவைகளாக இருக்கின்றன, ஏனெனில் அவைகளுக்கு $\triangle L = -1$ மற்றும் $\triangle J = -1$ ஆக இருக்கின்றன. அதே சமயத்தில் $D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}}$ என்பதற்கு $\triangle L = -1$ மற்றும் $\triangle J = 0$ ஆக இருப்பதால் இது மங்கலாகக் காணப்படுகிறது. செய்முறையில் சாதாரண பிரித்துக்காட்டும் தன்மையை உடைய கருவிகளைக் கொண்டு மங்கலான வரியினைக் காண முடியாது. முதன் முதலில் அது கண்டுபிடிக்கப்பட்ட போது அதைத் தெளிவான இரட்டை வரி அமைப்பின் துணை வரி (satellite) என்று கூறினார்கள்.

எனவே காரவகைகளின் (Alkalis) நிறமாலை, இரட்டை வரிகளையும், மும்வரிகளையும், கொண்டிருத்தல் வேண்டும் என்று தெரிகிறது. கொள்கையளவில் பொருத்தமான விளக்கமும் கிடைக்கிறது.

$H\alpha$ வரியின் நுண்ணமைப்பு :

$H\alpha$ வரி தோன்றுகின்ற நிறமாலையை உடைய ஹைட்ரஜன் அணு ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைச் சேர்ந்தது. ஆகவே $L = l$ $S = s$ மற்றும் $J = j$ ஆகும். மேலும் கீழ்நிலை (ground state) மட்டும் ஒற்றை வரி நிலையாகவும் மற்ற ஆற்றல் நிலைகள் எல்லாம் இரட்டை வரி நிலைகளாகவும் இருக்கின்றன.

போரின் எளிய கொள்கைப்படி பாமர் தொடரின் (Balmer Series) முதல் வரியாகிய $H\alpha$ வரி, மூன்றாவது ஆற்றல் நிலையிலிருந்து $(n = 3)$ இரண்டாவது ஆற்றல் நிலைக்கு $(n = 2)$ ஏற்படுகின்ற மாற்றத்தினால் உண்டாவதாகும்.

மேல் நிலைக்கு $(n = 3)$ 0, 1, 2 என்னும் ஏதேனும் ஒரு மதிப்பினை L என்பது பெறுதல் கூடும். $J = L \pm s$ என்னும் தொடர்பினைப் (relation)ப் பயன்படுத்த—இங்கு s-ன் மதிப்பு $\frac{1}{2}$ ஆதலால்—கிடைக்கக் கூடிய உறுப்புகளின் எண்ணிக்கை ஐந்து ஆகிறது. அவையாவன : $^2D_{\frac{5}{2}}$, $^2D_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ மற்றும் $^2S_{\frac{1}{2}}$.

கீழ்நிலைக்கு ($n=2$), 0 மற்றும் 1 என்னும் இரு மதிப்புகளை L பெறுதல் கூடும். இதிலிருந்து கிடைக்கக்கூடிய உறுப்புகளின் எண்ணிக்கை மூன்றாகும். அவை $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ மற்றும் $^2S_{\frac{1}{2}}$ என்பனவாகும்.

மேல்நிலையின் ஐந்து உறுப்புகளுக்கும் கீழ்நிலையின் மூன்று உறுப்புகளுக்கும் இடையே கொள்கையளவில் 15 வகையான மாற்றங்கள் நிகழ இடமிருக்கிறது. ஆனால் $\triangle L=\pm 1$ மற்றும் $\triangle J=0$ அல்லது ± 1 என்னும் தேர்வு விதிகள் அனுமதிக்கப்படும் மாற்றங்களைப் பின்வருவது போல ஏழு ஆகக் குறைத்து விடுகின்றன.

$$D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}},\ D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}},\ D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}},\ P_{\frac{3}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}\ P_{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}},$$
$$S_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}},\ \text{மற்றும்}\ S_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$$

தனி நிகழ்ச்சிகளான இவை எழில் இரு சோடிகள் (pairs) ஒன்றுபோல் அமைந்து இருக்கின்றன. அவை $D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$ மற்றும் $P_{\frac{3}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}$ என்ற ஒரு சோடியும், $P_{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}$ மற்றும் $S_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$ என்ற இன்னொரு சோடியும் ஆகும். அவை ஒத்திசைந்த (coincident) மட்டங்களுக்கு இடையே ஏற்படும் மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன. அதாவது L-ன் மதிப்புகள் ஓர் அலகு வேறுபாடும், J-ன் மதிப்புகள் சமமாகவும் உள்ள மட்டங்களுக்கு இடையே ஏற்படும் மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன.

இவ்வாறு ஒன்றாய் அமைந்த (identical) வரிகளை நோக்க அவைகளின் நுண்ணமைப்பு ஐந்து ஆக்க உறுப்புகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்று தெரிகிறது.

செறிவு விதியினைப் பயன்படுத்த,

$$D_{\frac{5}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}}\ \text{மற்றும்}\ \left\{\begin{array}{c} D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}} \\ P_{\frac{3}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}} \end{array}\right\}\ \text{என்னும்}$$

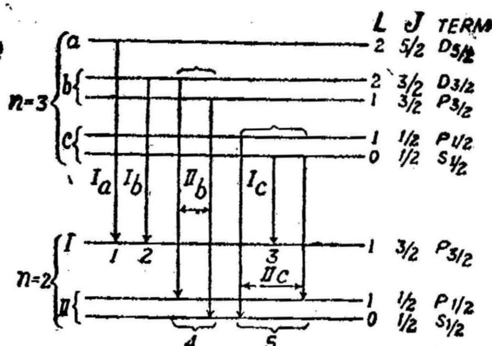
இரு ஆக்கக் கூறுகளும், $\triangle L=-1$ மற்றும் $\triangle J=-1$ என்னும் வகையினைச் சேர்ந்தவையாக இருப்பதால் அதிகச் செறிவுள்ளவைகளாக இருக்கின்றன.

$D_{\frac{3}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}}$ மற்றும் $P_{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}$ என்னும் இரு ஆக்கக் கூறுகளும் $\triangle L=-1$, $\triangle J=0$ என்னும் வகையினைச் சேர்ந்தவை

ஆதலால் குறைந்த செறிவுடையவைகளாக இருக்கின்றன. $S_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_{\frac{3}{2}}$ என்னும் ஆக்கக்கூறு $\Delta L=+1$ மற்றும் $\Delta J=+1$ என்னும் வகையினைச் சேர்ந்து இருப்பதால் மிகக் குறைந்த செறிவுடையதாக இருக்கிறது. எல்லாவற்றையும் விட $S_{\frac{1}{2}} \rightarrow P_{\frac{1}{2}}$ என்றும் வரி ($\Delta L=+1$, $\Delta J=0$) மிக மிகக் குறைந்த செறிவுடையது. ஆனால் மேலே கூறிய காரணங்களினால் இது $P_{\frac{1}{2}} \rightarrow S_{\frac{1}{2}}$ என்னும் வரியுடன் ஒன்றாகிவிடுகிறது.

ஆற்றல் மட்டப்படம் (படம் 171):

ஒத்திசைந்த மட்டங்கள் (Coincident levels) நெருங்கி அமைந்துள்ளன. படுக்கைக் கோடுகளால் குறிப்பிடப்படுகின்றன. மேல்நிலையில் இத்தகைய இருமட்டங்களும் கீழ்நிலையில் ஒரு மட்டமும் இருக்கின்றன. கீழ்நிலையின் மேல்மட்டத்தில்



படம் 171.

முடிவடைகின்ற குத்துக் கோடுகளைத் தொகுதி I என்றும் கீழ் மட்டத்தில் முடிவடைகின்றவற்றைத் தொகுதி II என்றும் குறிப்பிடுவோம். மேல் நிலையின் ஆரம்ப மட்டங்களை அவை ஒத்திசையாதபோது a, b, c, எனக் குறிப்பிடுவோம் II b மற்றும் II_c என்பன ஒன்றாய் அமைந்த (identical) சோடிகளாகும். Ia, Ib, I_c I b மற்றும் II_c என்பவற்றிற்குரிய ஆக்கக் கூறுகள் ஐந்தும் முறையே 1, 2, 3, 4, 5 என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

செறிவு விதிப்படி Ia மற்றும் IIb (1 மற்றும் 4) ஆகிய ஆக்கக் கூறுகள் மிகுந்த செறிவுடன் இருக்கின்றன. Ib மற்றும் II_c (2 மற்றும் 5) ஆகியவைக் குறைந்த செறிவுடனும் I_c (3) மிகக் குறைந்த செறிவுடனும் இருக்கின்றன.

நடைமுறையில் ஐந்து ஆக்கக் கூறுகளும் காணப்படுவதில்லை. இரட்டைவரிகள் மட்டுமே தெரிகின்றன. மூலக் கூறுகளின் வெப்ப இயக்கத்தினுல் (Thermal motion of moleculer) ஏற்படும் டாப்ளர் விரிவு (Doppler broadening) காரணமாக மேற்கூறிய ஐந்து ஆக்கக் கூறுகளும் ஒன்ருய்க் கலந்து விடுகின்றன. 1938ல் ஆர். சி வில்லியம்ஸ் என்பார், திரவ நிலைக்காற்றைக் (liquid air) கொண்டு குளிர்விக்கப்பட்ட, டியூட்ரியம் உள்ள மின்னிழப்புக் குழாய்களைப் பயன்படுத்தி மிகுந்த கவனத்துடன் செய்த ஆய்வுகள் மூன்று ஆக்கக் கூறுகளைக் காட்டின.

எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைகள் (X - Ray Spectra)

நிறமாலை உறுப்புகள் :

எக்ஸ்-கதிர் ஆற்றல் மட்டம் ஒவ்வொன்றும் நிறைவுற்ற மண்டலத்திற்கு ஓர் எலெக்ட்ரான் குறைவாக உள்ள அணு நிலையைக் குறிக்கிறதென்பதைக் கண்டோம் (பக்கம் .... பார்க்க) நிறைவுற்ற மண்டலத்திலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் போய்விட ஏற்படுகின்ற அமைப்பு ஒன்றின் நிறமாலை உறுப்புகள், அம் மண்டலத்தில் அந்த ஒற்றை எலெக்ட்ரான் மட்டும் குடிகொண்டிருந்தால் எவ்வாறு இருக்குமோ, அப்படித்தான் இருக்குமென்று பௌலி என்பார் குறிப்பிட்டார். இதிலிருந்து எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையின் உறுப்பு அமைப்பு ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைப் போன்றே இருக்கும் என்று தெரிகிறது. தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் பற்றிய மோஸ்லேயின் ஆராய்ச்சிகளும் இதே முடிவினை அதாவது எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை உறுப்புகள் ஹைட்ரஜன் நிறமாலை உறுப்புகளின் வகையைச் சேர்ந்தது என்னும் முடிவினை —காட்டின.

எனினும் பயன்படுத்தப்படும் குறியீடுகள் வேறுபடுகின்றன. எக்ஸ்-கதிர் ஆற்றல் மட்டங்கள் அவை குறிப்பிடுகின்றன. மண்டலங்களை உறுதிப்படுத்தும் வகையில் K, L, M என்னும் பெரிய எழுத்துகளால் பெயரிட்டு அழைக்கப்படுகின்றன. ஏவரை அணுமாதிரி (vector atom model) ஏற்ப இந் நிலைகள் ஒவ்வொன்றும் n என்னும் கூடுதல் கூடுதலி எண்ணுல் (total quantum number) சிறப்பாகக் குறிக்கப்படுகின்றன. (K நிலைக்கு $n = 1$, L நிலைக்கு $n = 2$, M நிலைக்கு $n = 3$ என்பது போல) K நிலை தவிர மற்ற எல்லா நிலைகளும் துணைப் பிரிவுகளாகப் (sub-groups) பகுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. L நிலை இரண்டாகவும், M நிலை மூன்ருகவும், N நிலை நான்காகவும் இவ்வாறே மற்ற நிலைகளும் பகுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

எக்ஸ்-கதிர்களை உமிழ்கின்ற அணு ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைப் போன்றதே என்னும் உண்மையினைப் பயன் படுத்தும் போது எக்ஸ்-கதிர் உமிழ்வு நிகழ்ச்சியில் $L = l$, $S = s$ மற்றும் $J = j$ என்ருகும். ஆகவே $J = j = l \pm \frac{1}{2}$ என்ருகிறது. மேலும் கீழ்நிலை நீங்கலாக அணுவின் மற்ற நிலைகள் ஒவ்வொன்றும் இரட்டை வரி நிலையே ஆகும் என்பதும் தெளிவாகிறது. எனவே கீழ்நிலைக்கு உரிய K நிலை ($n = 1$, $l = 0$) ஒற்றை வரி நிலையாகும். L நிலை ($n = 2$, $l = 0, 1$) இரு துணைப் பிரிவுகளைக் கொண்டுள்ளது. முதல் துணைப் பிரிவு ($n = 2$, $l = 0$) ஓர் உறுப்பினையும் ஆனல் இரண்டாவது துணைப் பிரிவு ($n = 2$, $l = 1$) S-ன் $\frac{3}{2}$ மற்றும் $\frac{1}{2}$ என்னும் இரு வேறு மதிப்புகளுக்கு ஏற்ப இரு உறுப்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. இவ்வாறு மூன்று உறுப்புகளைப் பெற்ற L நிலை முவ்வரி (triplet) நிலையாகும். M நிலை ($n = 3$, $l = 0, 1, 2$) மூன்று துணைப் பிரிவிகளைப் பெற்று ஐந்து வரி (quintet) நிலையாகிறது. $l = 0$ மற்றும் $j = \frac{1}{2}$ (முதல் துணைப் பிரிவு) என்பதற்கு ஏற்ப ஒரு வரியும், $l = 1$ மற்றும் $j = \frac{3}{2}, \frac{1}{2}$ (இரண்டாவது துணைப் பிரிவு) என்பதற் கேற்ப இரு வரிகளும், மற்றும் $l = 2$, $j = \frac{5}{2}, \frac{3}{2}$ (மூன்ருவது துணைப் பிரிவு) என்பதற்கேற்ப கடைசி இரு வரிகளும் கிடைக்கின்றன. நான்கு துணைப் பிரிவுகளைக் கொண்ட N நிலை ($n = 4$, $l = 0, 1, 2, 3$) ஏழு வரி நிலையாகும். $l = 0$ என்பதற்கேற்ப ஓர் ஒற்றை வரியும் $l = 1, 2, 3$ என்பதற்கேற்ப மூன்று, இரட்டை வரிகளையும் கொண்டிருக்கிறது. இங்கு உறுப்புப் பெருக்கம் (term multiplicity) பெருகிக் கொண்டே போவது இல்லை. பௌலியின் கோட்பாடு இதற்கு எல்லை (limit) வகுத்துவிடுவதால், O நிலை ஐந்து வரி நிலையாகவும், P நிலை முவ்வரி நிலையாகவும் ஆகிவிடுகின்றன. மொத்தத்தில் 24 வெவ் வேறு உறுப்புகள் இருக்கின்றன. எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் உரிய நிறமாலைகளை முழுமையாகக் குறிப்பிட அவை போதும். அவை பெரிய எழுத்துகளுடன் கூடவே எழுதப்படும் ரோமானிய இலக்கங்களால் (roman numerals) குறிக்கப்படுகின்றன.

எடுத்துக்காட்டு :

$$K,\ L_I\ L_{II}\ L_{III},\ M_I\ M_{II}\ M_{III}\ M_{IV}\ M_V,$$

போன்றவைகளாகும். இவை கொடுக்கப்பட்ட n-ன் மதிப்புக்கு இயன்ற எல்லா l மற்றும் j-ன்சேர்க்கைகளைக் குறிக்கின்றன.

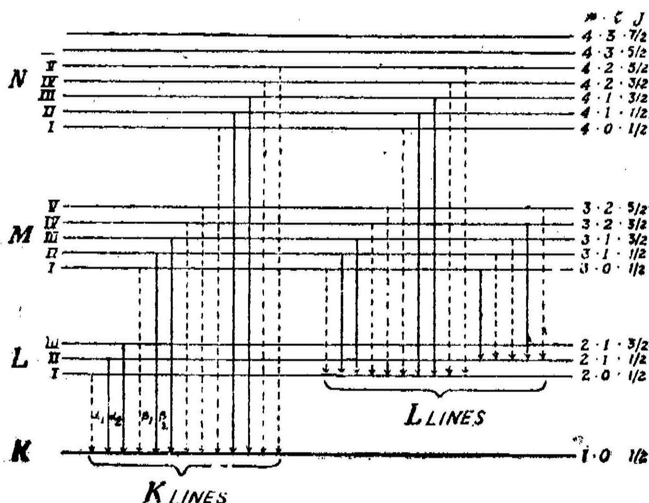
நுண்ணமைப்பு :

பொதுவாகத் தனித்தனியாகவுள்ள 24 எக்ஸ்-கதிர் உறுப்பு களுக்கு இடையே நிகழும் மாற்றங்களினுல்தான் எக்ஸ்-கதிர் வரிகள் (X-Ray lines) தோன்றும். ஆனல் தேர்வு விதிகள் காரணமாக $\Delta L = \pm 1$ மற்றும் $\Delta J = 0$ அல்லது ± 1 என்னும்

கட்டுப் பாட்டிற்கு இணங்கும் மாற்றங்கள் மட்டுமே நிகழ இயலும். ஆகவே இரு நிலைகளுக்கு இடையே நிகழக்கூடிய மாற்றங்களின் எண்ணிக்கை பெருமளவு குறைந்து விடுகின்றது. ஆகவே எக்ஸ்-கதிர் வரியின் நுண்ணமைப்பில் உள்ள ஆக்கக் கூறுகளின் எண்ணிக்கை குறைந்து விடுகிறது.

K நிலையில் முடிவடையும் மாற்றத்திற்கு உரிய கதிர்வீச்சினை K வரி என்றும், L நிலையில் முடிவடைவதை L வரி என்றும் இவ்வாறே மற்றவற்றையும் அழைக்கிறோம். பொதுவான இப் பிரிவுகளின் நுண்ணமைப்பினைப் பின்வரும் வழக்கிற்கு ஏற்பச் சிறிய கிரேக்க எழுத்துகளைக் கொண்டு பாகுபடுத்தி உணர்கிறோம். L நிலையின் பல உறுப்புகளிலிருந்து K நிலையின் ஒற்றை உறுப்புக்கு மாற்றம் நிகழ்வதால் ஏற்படும் வரிகளை K_{α_1}, K_{α_2} ... . என்றும், M நிலையின் பல்வேறு உறுப்புகளிலிருந்து K நிலையின் ஒற்றை உறுப்புக்கு மாற்றம் ஏற்படுவதால் உண்டாகும் வரிகளை K_{β_1}, K_{β_2} ...... என்றும் அழைக்கிறோம். இவ்வாறு மாற்றத்தின் இறுதி நிலையை வைத்து K, L, M .... வரிகள் என்னும் பொதுப்பிரிவு, மாற்றத்தின் ஆரம்ப நிலையை வைத்துத் தனித்தனி நுண்ணமைப்பு ஆக்கக் கூறுகளின் குறிப்பிட்ட பிரிவும் செய்யப்படுகின்றன.

மேற்கூறிய உண்மைகள் படம் 172-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளன. K, L, M, N ஆகிய நான்கு நிலைகளின் உறுப்பு அமைப்புத்



படம் 172

எக்ஸ்-கதிர் நுண்ணமைப்பினைக் காட்டும் படம்

திட்டம் (Scheme) மட்டுமே சித்தரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு உறுப்புக்கும் உரிய *n*, *l*, மற்றும் *j* இவற்றின் மதிப்புகள் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன. K மற்றும் L வரிகளின் நுண்ணமைப்புகள் சிலவும் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தொடர்ந்த கோடுகள் (continuous lines) நுண்ணமைப்பு ஆக்கக் கூறுகளைத் தருகின்ற அனுமதிக்கப்பட்ட மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன. புள்ளிக் கோடுகள் (dotted lines) தேர்வு விதியால் தடுக்கப்பட்டிருக்கும் மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன. அதிக அணு எண் கொண்ட தனிமங்களை நோக்கிச் செல்லச் செல்ல, நிறமாலை உறுப்புகளின் எண்ணிக்கையும், அதன் காரணமாக நுண்ணமைப்பின் ஆக்கக் கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் பெருகிக் கொண்டே செல்லுகின்றன. எக்ஸ்-கதிர் வரிகளின் நுண்ணமைப்புப்பற்றிய தெளிவான விளக்கம் 1927-ல் பெறப்பட்டது. ஸ்மீக்கல் (Smekal) வெண்ட்சல் (Wentzel) கோஸ்டர் (Coster) போர் (Bohr) ஆகிய நான்கு பௌதிக அறிஞர்களின் சேவை இத் துறையில் பெரிதும் பாராட்டிற்கு உரிய ஒன்றாகும்.

இவ்வாறு ஒளியியல் மற்றும் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்புகள் ஏவரை அணு மாதிரியால் வரையறுக்கப்படும் நிறமாலை உறுப்புகளினாலும், சில தேர்வு விதிகளினாலும் போதிய விளக்கம் பெறுகின்றன. நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு பற்றிய திருப்தியான விளக்கம் பெறவேண்டுமானால் எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியையும் புகுத்திக் கணக்கிட வேண்டும் என்பதை இங்கு வலியுறுத்திக் கூறுதல் வேண்டும்.

வெக்டார் அணு மாதிரியினைச் செய்முறையில் நிலைநாட்டல்

(Experimental Confirmation of Vector atom model)

ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் செய்முறை (Stern & Gerlach experiment) :

1921-ல் ஸ்டேர்ன் (Stern) மற்றும் கெர்லாக் (Gerlach) என்போர் ஒருபடித்தானதற்ற (non-homogeneous) மின்புலங்களில் அணுக்கள் செயல்படும் தன்மையினைக் கண்டறியும் ஓர் ஆய்வினைத் தொடங்கினர். அதன் பின்னர் பல்வேறு துறைகளில் இது விரிவாக்கப்பட்டது. மேற்கூறிய ஆய்வுகள் ஏவரை அணு மாதிரியின் முக்கிய தன்மைகளாகிய இடஞ் சார்ந்த குவான்டப்படுத்தல் (spatial quantisation), தற்சுழற்சி எலெக்ட்ரான் (spining electron) மற்றும் வரையறுக்கப்பட்ட அணு காந்த

திருப்புத்திறன் (atomic magnetic moment) ஆகியவைகளை நேரடியான முறையில் மிகவும் ஏற்புடைய வகையில் நிலைநாட்டின.

கோட்பாடு :

எலெக்ட்ரான்களின் வீதிவழி இயக்கம் மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கம் இவைகளினால் உண்டாகும் காந்த திருப்புத்திறனைப் (magnetic moment) பின்வருமாறு அளவிடலாம்.

நீள் வட்டப்பாதை போன்ற மைய விசை வீதி ஒன்றில் (central orbit) செல்லும் ஓர் எலெக்ட்ரானை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். எலெக்ட்ரான் வீதி வழியே சுற்றி வருவதனால் உண்டாகும் மின்னோட்டம் $i = \frac{e}{CT}$ மி. கா. அலகுகள் $(e.m.u)$ ஆகும். இங்கு e என்பது மின்னூட்டத்தையும் (நி. மி. அலகுகள்) C என்பது ஒளியின் வேகத்தினையும் T என்பது அலைவு நேரத்தையும் குறிக்கின்றன.

ஆம்பிரியரின் தோற்றத்தைப் (Ampere's theorem) பயன்படுத்த இம் மின்னோட்டம் μ_l என்னும் காந்தச் சுழற்றுத் திறனைத் தருகிறது.

$$\mu_l = \left(\frac{e}{cT}\right) A \qquad \ldots \qquad (1)$$ இங்கு

A என்பது வீதியால் சூழப்பட்டுள்ள பரப்பினைக் குறிக்கிறது. மைய வீதியில் இயக்கத்தின் பரப்பு வேகம் (arcal velocity)

$$\tfrac{1}{2}r^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)$$

ஆகையால்,

$$A = \int_0^T \tfrac{1}{2}r^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right) dt$$ ஆகும்.

p_l என்னும் கோண உந்தம் (angular moment)

$$p_l = mr^2 \left(\frac{d\theta}{dt}\right)$$

என்பதால் பெறப்படுகிறது. ஆகவே,

$$\tfrac{1}{2}r^2 = \left(\frac{d\theta}{dt}\right) = \frac{p_l}{2m}$$ ஆகிறது.

எனவே,

$$A = \int_0^T \left(\frac{p_l}{2m} \right) dt$$

இதில் p_l மற்றும் $2m$ என்பன மாறிலிகள் (constants) ஆகவே,

$$A = \frac{p_l}{2m} \int_0^T dt = \frac{p_l}{2m} T \text{ ஆகும்.}$$

A-ன் இம் மதிப்பினை (1)ல் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu_l = \frac{e}{cT} \cdot \frac{p_l T}{2m} = \frac{e}{2mc} \cdot p_l \quad \dots \quad (2)$$

குவான்ட கொள்கைப்படி

$$p_l = l\left(\frac{h}{2\pi}\right) \text{ ஆகையால்,}$$

$$\mu_l = \frac{eh}{4\pi mc} l. \quad \dots \quad \dots \quad \dots (3)$$

ஆகவே μ_l என்னும் விதி நிலை காந்த திருப்புத்திறன், (orbital magnetic moment) l என்னும் வீதி நிலை குவான்ட எண்ணுக்கு (orbital quantum number) நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது என அறிகிறோம்.

$l = 0$ என்றால் $\mu_l = 0$ ஆகும். $l = 1$ என்றால் $\mu_l = \frac{eh}{4\pi mc}$ ஆகும். இவ்வாறே மற்ற மற்ற மதிப்புகளையும் கணக்கிடலாம். $\frac{eh}{4\pi mc}$ என்னும் அளவு அணு மற்றும் உட்கூறு அணு ஆகியவற்றின் காந்த சுழற்றுத் திறனை அளவிடுவதற்கான சிறும மாறிலி அலகு (smallest constant unit) ஆகும். இதற்கு போர் மேக்னடான் (Bohr magneton) என்று பெயர். இதன் மதிப்பினை h, $\frac{e}{m}$ மற்றும் c இவைகளின் தெரிந்த மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து எளிதில் கணக்கிடலாம். இதன் மதிப்பு 9.21×10^{-21} எர்க் ஓர்ஸ்டட் $^{-1}$ ஆகும்.

கொள்கையளவினதாகவும், செய்முறை அளவினதாகவும் அமைந்த பல காரணங்களுக்காக எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி

யினுல் ஏற்படும் காந்த சுழற்றுத்திறன் ஒரு போர் மேக்னடான் எனக் கொள்ள வேண்டியதாகிறது.

எலெக்ட்ரான்களின், வீதி வழி மற்றும் தற்சுழற்சி இயக்கங்களினுல் உண்டாகும் காந்த சுழற்றுத் திறனை உடைய ஓர் அணுவை, ஒரு சிறிய காந்தம் எனக் கருதலாம். இதன் அளவுகள் சிறியதாயினும், வரையறுக்கப்பட்டன ஆகும். இத்தகைய அணுகாந்தம் (atomic magnet) ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும் போது காந்தப்புலத்தின் தன்மையைப் பொறுத்து செயல் படுகிறது.



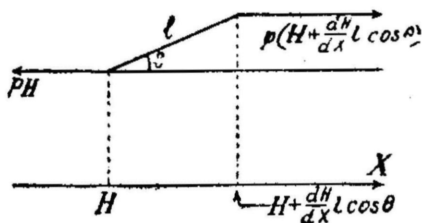
) . ன்

காந்தப் புலம் ஒரு படித் தானதாக (homogeneouns) இருந்தால் காந்த முனைகளில், சமமான ஆனுல் எதிரான விசைகள் ஏற்பட்டு, அணு காந்தம் ஒரு சோடி விசைக்கு (couple) ஆட்படுகிறது. அணுகாந்தத்தின் அச்சினை சுழற்றி புலத்தின் திசையில் வைக்கிறது. இத்தகைய புலத்தில், அணுகாந்தம் அதன் அச்சு புலத்தின் திசையில் சுழற்றப்படுகிறது என்ருலும் அது புலத்தின் திசைக்குக் குத்தாகச் சென்ருல் விலக்கம் ஏதுமற்ற நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் செல்லும்—அதாவது இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுவதில்லை.

ஆனுல் புலம் ஒரு படித்தானதல்ல என்ருல் இரு முனைகளிலும் உண்டாகும் விசைகள் சமமாக இருக்காது. ஆகவே புலத்தின் திசையில் காந்த அச்சு சுழற்றப்படுவதுடன் கூட அணு இடப்பெயர்ச்சி (translational displacement) யும் அடைகிறது. இத்தகைய, ஒரு படித்தானதற்ற காந்தப்புலத்தின் திசைக்குக் குத்தான திசையில் அணுகாந்தம் செல்லும்போது அது அதன் நேர்க்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து கோட்டமுறுமாறு செய்யப் படுகிறது.

இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் கோட்டத்தின் (deviation) அளவினைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

X என்னும் திசையில் காந்தப் புலம் ஒருபடித்தான தன்மையற்றதாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதன் புலச்சரிவு (field gradient) $\frac{dH}{dX}$ எனக் கொள்வோம். (படம் 173) P என்னும் முனைவலிமை (pole strength) l நீளமும், M என்னும் காந்த சுழற்றுத் திறனும் கொண்ட அணு காந்தம் அதன் அச்சு ஒருபடித்தானதற்ற காந்தப் புலத்தின் திசையிலிருந்து Q கோண அளவில் சாய்ந்திருக்குமாறு வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்ளுவோம்.



படம் 173.

அதன் ஒரு முனையில் புலத்தின் வலிமை (strength) H என்றால் அதன் மறு முனையில் புலத்தின் வலிமை $H + \left(\frac{dH}{dX}\right) l \cos \theta$ ஆகும். எனவே புலத்தினால் அணு காந்தத்தின் இரு முனைகளிலும் ஏற்படும் விசைகள் முறையே PH மற்றும் $P\left[H + \left(\frac{dH}{dX}\right) l \cos \theta\right]$ என்றாகும். இதிலிருந்து சுழற்றும் இரட்டை (couple) யைத் தருகின்ற PH என்னும் சமமான ஆனால் எதிர் எதிராகவுள்ள இரு விசைகளுடன் கூட $P\left(\frac{dH}{dX}\right) l \cos \theta$ என்னும் அதிகப்படியான விசையும் இருக்கிறது என்பதை அறிகிறோம். இந்த அதிகப்படியான விசைதான் அணுவை இடம் பெயரச் செய்கிறது. இவ்விசையினை F_x என்று பெயரிட்டால்

$$F_x = Pl \left(\frac{dH}{dX}\right) \cos \theta$$

$$= M \cos \theta \left(\frac{dH}{dX}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1.)$$

அணு காந்தம் ஒருபடித்தானதற்ற காந்தப் புலத்தின் குறுக்கே, விசைக் கோடுகளுக்குக் குத்தான கோணத்தில் செல்வதாகக் கொள்ளுவோம். இப்போது அணு அதன் நேர்க் கோட்டுப் பாதையிலிருந்து, புலத்தின் திசையில் இடம் பெயரும்

இந்த இடப் பெயர்ச்சியினைக் கணக்கிடும் பொருட்டு, m என்னும் பொருண்மை கொண்ட அணு காந்தம், புலத்தினுள் நுழையும் போது அதற்கு உள்ள வேகம் v என்று கொள்ளுவோம் புலத்தில் அது செல்லும் பாதையின் நீளம் L என்றும் அதற்கான நேரம் t என்றும் கொள்ளுவோம். இடப்பெயர்ச்சி தரும் F_x என்னும் விசையினால் அணுவுக்குப் புலத்தின் திசையில் தரப்படும் முடுக்கம் ஆகிய $\propto_x$ என்பது $\frac{F_x}{m}$ ஆகும். t என்னும் நேரத்திற்குப் பின்னர் புலத்தின் திசையில் அணுவுக்கு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி யாகிய

$$D_x = \frac{1}{2} \propto_x t^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{F_x}{m} \cdot \left(\frac{L}{v}\right)^2 \quad \because \quad t = \frac{L}{v}$$

புலத்தின் திசையிலுள்ள விசையினால் புலத்தின் திசைக்குக் குத்தான திசையில் உள்ள அணுவின் வேகம் பாதிக்கப் படுவதில்லை.

(1)ல் இருந்து F_x-மதிப்பினைப் பதிலீடு செய்ய

$$D_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{M \cos \theta}{m} \cdot \frac{dH}{dX} \left(\frac{L}{v}\right)^2$$

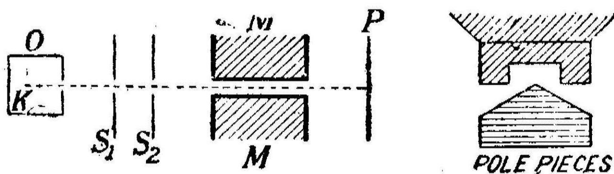
μ என்பது புலத்தின் திசையில் பிரிக்கப்பட்ட l காந்த சுழற்றுத் திறனின் ஆக்கக் கூறு என்றால்

$$D_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu}{m} \cdot \frac{dH}{dX} \cdot \left(\frac{L}{v}\right)^2 \quad \ldots \quad (2)$$

இதனின்றும், D_x, m, $\frac{dH}{dX}$, L மற்றும் v என்பவைகள் தெரிந் தால் μ-வினைக் கணக்கிடலாம் என்பதை அறிகிறோம். $\frac{dH}{dX} = 0$ என்றால்—அதாவது புலம் ஒரு படித்தானதாகி விட்டால்—$D_x = 0$ ஆகும். அதாவது கோட்டம் ஏற்படாது. $D_x \propto \frac{dH}{dX}$ ஆதலால் புலம் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு ஒரு படித்தானதாக இல்லாது இருக் கிறதோ அதற்கு ஏற்ப கோட்டத்தின் அளவு அதிகமாக இருக்கும்.

அளவிடக்கூடிய வகையில், சிறிதளவு கோட்டமுண்டுபண் ணுவதற்குக்கூட அணுகாந்தத்தின் சிறிய நீளத்திற்குள்ளும் (இது

10^{-8} செ. மீ. அளவு உள்ளது) கூட புலம் மாறுபடும் அளவுக்கு ஒருபடித்தான தன்மையற்றதாக இருக்கவேண்டும், ஸ்டோன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோர், தக்க அமைப்புடைய காந்தமுனைத் துண்டுகளைக் கொண்டு. போதிய அளவிற்கு ஒருபடித்தானத் தன்மை அற்ற காந்தப்புலம் உண்டாக்குவதில் வெற்றி கண்டனர். காந்தமுனைத் துண்டுகளில் (pole pieces) ஒன்று கத்திமுனை வடிவிலும் மற்றமுனைத் துண்டு கீழே உள்ள படத்தில் காட்டியுள்ள



படம் 174.

வாறு பள்ளம் ஒன்றுடன் கூடிய பட்டையான முகப்புடனும் அமைக்கப்பட்டிருந்தன. இதனால், காந்த விசைக் கோடுகள் கத்திமுனைப் பகுதியில் நெருக்கமாக இருக்கின்றன. ஆகவே அங்கு மற்ற முனைத்துண்டில் இருப்பதைவிட அதிகமான புல வலிமை இருக்கிறது.

கருவியின் அமைப்பு :

படம் 174-இல் ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோர் உருவாக்கிய செய்முறை அமைப்பு காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஆய்வுக்குரிய பொருளின் மாதிரி (speciman) யாகிய K, O என்னும் மின்னடுப்பில் (electric oven) சூடாக்கப்படுகிறது. இதனால் அப்பொருள் ஆவியாகும் வெப்ப நிலைக்கு உரிய ஒரு வேகத்தோடு எல்லா திக்குகளிலும் அணு கதிர்களை (atomic rays) அனுப்புகிறது. S_1 மற்றும் S_2 என்னும் பிளவுகளின் (slits) உதவியால் மிக மெல்லிய ஒரு கற்றை பெறப்படுகிறது. பின்னர் இக்கற்றை தனிப்பட்ட முறையில் அமைந்த M M என்னும் மின் காந்த முனைகளுக்கு இடையே செல்கிறது. காந்தப்புலம் கூடியவரை அதிக செறிவுள்ளதாகவும், இருக்கிறது. காந்த விசைக் கோடுகள் கற்றையின் திசைக்குச் செங்குத்தாக அமைந்திருக்கின்றன. இறுதியில் கற்றை, தக்கவாறு தயாரிக்கப்பட்டு கற்றையின் ஆரம்ப திசைக்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள P என்னும் தகட்டில் சென்று மோதுகிறது, இக் கருவி முழுதும் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஓர் அறையினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இவ்வமைப்பு மிக எளியது ஆயினும் மிகவும் கவனமாகச் செய்து முடிக்கவேண்டிய பல நுட்பங்களைக் கொண்டிருக்கிறது. இக் கருவியின் பல பகுதிகள் மிகவும் சிறியன. சிலவற்றில் காந்த முனைத் துண்டுகள் 5 செ. மீ. நீளமும், மின் அடுப்பு 2 செ.மீ. நீளமும், பதிவு செய்யும் தகடு 3 மி.மீ. சதுரமும் இருக்கின்றன. கத்தி முனை வடிவு கொண்ட காந்த முனைத் துண்டிற்கும், பள்ள முள்ள பட்டை முகப்புடன் கூடிய மற்ற முனைக்கும் இடையி லுள்ள தூரம் 1 மி. மீ, அளவில் இருக்கிறது.

செய்முறை :

இச் செய்முறையில் பின்வரும் முன்னெச்சரிக்கைகளை மேற் கொள்ளுதல் வேண்டும்.

(*a*) பெறக்கூடிய கோட்டம் மிகவும் குறைவாக இருப்பதால் இக் கருவியின் பல்வேறு பாகங்களையும் மிக்க கவனத்துடனும், சரியாகவும் இணைக்க வேண்டும்.

(*b*) மின் அடுப்பு மிகுந்த வெப்ப நிலையைத் தாங்கக்கூடிய தாக இருக்க வேண்டும். நிலையான வெப்ப நிலையில் நீண்ட நேரம் வைத்திருப்பதற்கு ஏற்ற வகையில் கட்டுப்படுத்துகின்ற நுட்பமான அமைப்பு வேண்டும்.

(*c*) அணுக்களின்வேகம் அடுப்பின் வெப்பநிலையைச் சார்ந் திருக்கிறது. அதனை வெப்ப மின்இயல் முறையிலோ அல்லது ஒளியியல் முறையிலோ அளவிடுதல் வேண்டும். வெப்பச் சம நிலையில் உள்ள அணுக்களுக்கு, வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}\text{KT} \text{ அல்லது } v = \sqrt{\frac{3\text{ KT}}{m}} \text{ என்னும்}$$

தொடர்பினை அளிக்கிறது. இதில் m மற்றும் v என்பன முறையே அணுவின் பொருண்மை மற்றும் வேகம் இவற்றைக் குறிக் கின்றன. K என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி (Boltzmann's Constant) ஆகும். T என்பது சார்பற்ற வெப்பநிலை (absolute temperature) யைக் குறிக்கிறது. என்றாலும் முன்னதாகச் செய்த சில செய் முறைகள் பிளவுகளின் வழியே வருகின்ற அணுக்களின் சராசரி வேகம் இந்த அளவினைவிட, சற்று அதிகமாக இருப் பதைக் காட்டின. எனவே வேகங்களின் சராசரி மதிப்பினை

$$v = \sqrt{\frac{3{\cdot}5\text{ KT}}{m}}$$ என்று கொள்ளுதல் வேண்டும்.

(*d*) கற்றையில் உள்ள அணுக்களுக்கும், அறையில் ஏதாவது வாயு தங்கியிருந்தால் அவ்வாயுவின் மூலக் கூறு களுக்கும் இடையே ஏற்படும் மோதல்களைத் தவிர்க்கும் பொருட்டு, திரவக்காற்று (liquid air) மற்றும் அடுப்புக்கரி (char coal) ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி, அறையினை நீண்ட நேரத்திற்கு வாயு நீக்கம் செய்தல் வேண்டும்.

(*e*) $\frac{dH}{dX}$ ன் மதிப்பினைத் துல்லியமாக அளவிடுவது எளிதான தல்ல. இம் மதிப்பு, கத்திமுனை வடிவுடைய காந்தமுனைத் துண்டின் கங்கிற்கு (edge) இணையாக பிஸ்மத் (Bismuth) கம்பி ஒன்றை வைத்து, அதன் மீது ஏற்படும் எதிர்த்துத் தள்ளுதலை (repulsion) அளவிடுவதன் மூலம் கணக்கிடப்படுகிறது. கற்றை புலத்தில் நுழையும் இடத்தில், வெளிவரும் இடத்தைக் காட்டிலும் காந்த முனைத் துண்டுகளுக்கு அருகில் இருப்பதால், கோட்டமுறும் கற்றையின் பாதையில் $\frac{dH}{dX}$ ன் மதிப்பில் ஏற் படும் வேறுபாட்டிற்கு ஒரு திருத்தம் தரவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

(f) தகட்டில் படிந்த சுவடுகளை (traces) கண்ணுல் காண் பதற்கு ஏற்றபடி அவற்றைப் புலப்படுத்துவது மற்ருெரு சிக்கலாகும், வெவ்வேறு அணுக்களுக்கு வெவ்வேறு வகையான ஏற்புத் தகடுகள் பயன்படுத்தப்பட்டன.

இத்தகைய பல தொழில் நுட்பத் தடைகளை நீக்கவேண்டி யிருந்ததால், தொடங்கிய பலசோதனைகளில் சிலவே நல்ல முடி வினைத் தந்தன என்பதில் வியப்பதற்கு ஒன்றுமில்லை.

தொடர்ந்து செய்த பல சோதனைகளுக்குப் பின்னர் முதன் முதலாக, முழுமையாக ஆராயப்பட்ட பொருள் வெள்ளி (silver) ஆகும். இதன் பின்னர் மற்ற தனிமங்களுக்குக் கருவி சரியாக இருக்கிறதா என்பதைச் சோதித்து அறிவதற்கு வெள்ளியைக் கொண்டு இடைச் சோதனைகள் (interpolating experiments) செய்வது சாத்தியமாயிற்று.

மைஸ்னர் (Meissner) மற்றும் ஸ்கெஃபர்ஸ் (Scheffers) என் போர் பின் வரும் முறைகளில் இக் கருவியைச் செம்மைப்படுத்தி ஞர்கள். இதனுல் D_x என்னும் கோட்டத்தினைத் துல்லியமாக அளப்பது கைக்கூடியது. அவர்கள் காரவகை உலோகங்களைக்

கொண்டு சோதனைகள் செய்தபோது, கோட்டமுற்ற கற்றையினை ஏற்புத்தகட்டில் விழச் செய்வதற்குப் பதிலாக, சூடாக்கப்பட்ட ஒரு டங்ஸ்டன் இழை ஒன்றின் மேல் மோதுமாறு செய்தனர். சூடான இழையின் மேல் மோதுண்ட காரவகை அணுக்கள் அவைகளின் எலெக்ட்ரான்களை இழந்து நேர்மின் அயனிகளாக வெளி வருகின்றன. இவ்வாறு உண்டான அயனியாக்க மின்னோட்டம் பல்வேறு இடங்களில் அளக்கப்பட்டது. உச்சநிலை மின்னோட்டத்தின் இடத்தைக் கொண்டு காந்தப்புல மாற்றம் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

பிப்ஸ் (Phipps) மற்றும் டெய்லர் (Taiyler) என்போர், ஹைட்ரஜன் அணுவின் காந்தத் திருப்பு திறனை (magnetic moment) அளவிடுகின்ற, கடினமான ஆனால் அவசியமான சோதனையினை வெற்றியுடன் செய்து முடித்தனர். தக்க சூழ் நிலையில், நீண்ட மின்னிழப்புக் குழல் ஒன்றிலோ அல்லது சூடான இழை ஒன்றைக்கொண்டு ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளைப் பிரிக்கும் முறையிலோ ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் உண்டாக்கப் பட்டன. அணு நிலை ஹைட்ரஜனை அதிக அளவில் கொண்டுள்ள கற்றை ஒரு கண்ணுடிக் குழாயில் அமைந்துள்ள மூன்று தனி வகையான பிளவு (slit) களின் வழியே செலுத்தப்பட்டது. அப் பிளவுகளுக்கு இடையே அதிக வாயு நீக்கம் செய்யும் இரு பம்புகள் (high vaccum pumps) வேலை செய்தன. இதனால் வெளிவரும் கற்றையில் கட்டற்ற அணுக்கள் (free atoms) மட்டுமே காணப்பட்டன. இக் கற்றை மிகுந்த வலிமையுள்ள, ஒருபடித்தான தன்மையற்ற காந்தப் புலத்தின் வழியே சென்ற பின்னர், மாலிபெடினம் ட்ரை ஆக்சைடு (Molybdenum tri-oxide)] பூசப்பட்ட தகடு ஒன்றில் ஏற்கப்பட்டது. இவ்வணுக்கள் ஆக்சைடை ஒடுக்கம் (reduce) செய்து காணுதற்குரிய சுவடுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. காந்தப்புலம் இல்லாதபோது, தெளிவான வெள்ளைப் பின்னணியில்(vack ground) தெளிவாய் அமைந்த நீல வரி ஒன்று கிடைக்கிறது. ஆனால் காந்தப் புலம் ஏற்பட்டவுடன் கற்றை இரண்டாகப் பிரிக்கப் பட்டு இரு சுவடுகள் கிடைத்தன. விலக்கமடைந்த வரிகளின் சரியான இடத்தை நிர்ணயிப்பதற்கு நுண் ஒளிப் படங்கள் (micro photo graphs) எடுக்கப்பட்டன. இவ்வாறு அளவிடப்பட்ட, விலக்கத்தைக் கொண்டு ஹைட்ரஜன் அணுவின் காந்த சுழற்றுத் திறன் — செய்முறைப் பிழையின் எல்லைக்குட்பட்ட நிலையில் — ஒரு போர் மேக்னடான் (bohr magneton) என்று கணக்கிடப் பட்டது.

விளைவுகள் :

காந்தப் புலம் இல்லாத போது வெள்ளி அணுக் கற்றை ஏற்புத் தகட்டில் ஓரளவு தெளிவான சுவட்டினை உண்டாக்கிற்று. ஒரு படித்தான தன்மையற்ற காந்தப் புலத்தினை நிலவச் செய்வதுடன் முதற் சுவட்டிற்குப் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக அமைந்த இரட்டைச் சுவடு (double trace) உண்டாயிற்று. பெறப் பட்ட சுவடு படம் 175-ல் காட்டப் பட்டிருப் பது போல் இருந்தது. வலது பக்கத்தில் உள்ள சுவட்டில் காணப்படும் ஒழுங்கற்ற தன்மை கத்திமுனை வடிவுடைய காந்தமுனைத் துண்டின் அருகிலுள்ள காந்தப் புலத்தின் ஒழுங்கற்ற தன்மை காரணமாக உண்டாவதாகும். தலைப் பக்கத்திலும் அடிப் பக்கத்திலும் காணப்படும் ஒருங்கு தன்மை (convergence) புலச் சரிவு குறுக்கு வாட்டில் குறைந்து செல்கிறது என்னும் உண்மையால் ஏற்படுகிறது உண் மையில் கிடைக்கும் சுவடுகள் இங்குக் காட்டப் பட்டிருப்பதைவிட மிகவும் சிறியவை. ஆனால், எளிதாக அளப்பதற்கு ஏற்றவாறு அவைகளை உருப் பெருக்கம் செய்து கொள்ளக் கூடும். அணுக்களின் வேகப் பங்கீடு (velocity distribution) காரணமாக ஒருவித பரவிடும் தன்மை (diffusiveness) தவிர்க்கமுடியாத ஒன்றாகி விடுகிறது. ஆனால் காந்தத்திற்குள்ள கற்றையைப் பிளக்கும் தன் மையின் அளவினை நோக்கும் போது பரவிடும் தன்மையினை ஒரு பொருட்டாகக் கொள்ளவேண்டுவதில்லை. புலத்தினால் கற்றையின் போக்கில் ஏற்படும் Dx என்னும் சராசரி கோட்டத்தினைச் சுவடு களைக் கொண்டு துல்லியமாக அளவிடலாம். இவ்வாறு Dx-ஐ அளவிட்டவுடன், $\frac{dH}{dX}$, L மற்றும் v முதலியவற்றை எளிதில் அளவிட்டு μ ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடலாம். வெள்ளிக்குரிய μ-ன் மதிப்பு ஒரு போர் மேக்னடான் என்று கணக்கிடப்பட்டது. ஆயப்பட்ட மற்ற தனிமங்களுக்குப் பெறப்பட்ட வினை பயன்களைப் பின்வருமாறு சுருக்கிக் கூறலாம்.



படம் 175.
(வெள்ளியின் அணுக் களைக் கொண்டு பெறப் பட்ட படம்)
(a) புலம் இல்லாத போது
(b) புலத்தில்.

Cu, Au, H, Li, Na, K : இவை இரட்டைச் சுவடுகளைத் தந்தன. இவைகளின் விலக்கத்திலிருந்து μ-ன் மதிப்பு வெள் ளிக்குக் கிடைத்ததைப் போன்று ± 1 போர் மேக்னடான் எனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது.

Zn, Cd, Hg, Sn, Pb : புலத்தினால் எந்த விளைவும் ஏற்பட வில்லை எனவே $\mu = 0$ ஆயிற்று.

Tl (தாலியம்) : சுவடு இரண்டாகப் பிரிந்தது. அதில் கோட்டமுருத அணுக்களின் தோன்ருத்தன்மை (absence) காணப் பட்டது. விலக்கத்தைக் கொண்டு கணக்கிடப்பட்ட μ-ன் மதிப்பு $\pm\frac{1}{2}$ போர் மேக்னடான் ஆகும்.

Sb, Bi : Sb கோட்டமுருத சுவட்டினைத் தந்தது. ஒரு பக்க மாகத் தொடர்ந்து அகன்று செல்லும் தன்மையைக் காட்டு வதிலும், அதன் கோட்டமுருத் தன்மையுடன் வலிவுடன் ஈர்க்கப் படும் தன்மையைக் குறிப்பிட்டுக் காட்டுவதிலும், ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோர் பெற்ற பிஸ்மத்சுவடு (Bi trace) குறிப் பிடத்தக்க ஒன்ருக விளங்கியது. ஆனுல் பின்னர் லூ (Leu) என்பார் சரிசீரமைவுடைய பிரிவினைப் பெற்ருர். அவற்றின் செறிவுப் பங்கீடு 1 : 3 என்ற விகிதத்தில் μ-ன் மதிப்பினைக் கொண்ட அணுக்களுக்கு உள்ளதைப் போல இருக்கிறது என்ப தையும் காட்டினுர்.

Ni. Co, Fe : நிக்கல் விந்தையான விளைவுகளைக் காட்டிற்று. அதில் நன்கு அமைந்த மூன்று சுவடுகள் காணப்பட்டன. அவற்றுள் ஒன்று கோட்டமடையாத இடத்தில் காணப்பட்டது. இதனுல் நிக்கல் அணுக்களுள் சிலவற்றிற்குக் காந்த சுழற்றுத்திறன் இல்லை ($\mu=0$) என்று தெரிகிறது. கோட்டமுற்ற சுவடுகளுக்கு μ-ன் மதிப்பு ஒரு போர் மேக்னடானை விட சற்று அதிகமாக இருந்தது. நன்கு தெரிந்த மூன்று சுவடுகளுடன் கூட அதிக சுழற்றுத்திறன் கொண்ட அணுக்கள் இருப்பதற்கான அறிகுறி களும் காணப்பட்டன. பலமுறை செய்யப்பட்ட சோதனைகளுக்குப் பின்னர் இரும்பு மக்குமேல் அதிக அளவுள்ள μ கொண்டிருக் கிறது என்பதற்கான அறிகுறிகளைக் காட்டியது. 'கொபால்ட்'க்கு μ-ன் மதிப்பு ஆறு என்று ஓரளவு நிலைநாட்ட இயன்றது.

விளைவுகளுக்கான விளக்கம் :

முதலில் கற்றையில் இருப்பது தனி அணுக்களா அல்லது மூலக் கூறுகளா என்று அறிந்து கொள்வது அவசியம். ஏனெனில் கற்றையில் உள்ளவை அணுக்களாயினும், மூலக் கூறுகளாயினும் சோதனையின் மூலம் நமக்கு சுமந்து செல்லும் துகளின் (carrier) பகுக்கப்பட்ட திருப்புத் திறன்தான் கிடைக்கிறது நாம் பயன் படுத்தும் வெப்ப நிலையில் Cu, Ag, Au, Sn, Pb, மற்றும் Tl ஆகிய யவற்றின் ஆவிகள் ஓரணு (monoatonic) நிலையில்தான் இருக்கும் என்பதில் சிறிதும் ஐயமில்லை. எனவே கணிக்கப்பட்ட μ-ன் மதிப்புகள் அணு நிலை சுழற்றுத் திறனையே குறிக்கின்றன. Ni, Co. Fe ஆகியவைகளும் ஓரணு நிலையில் இருப்பது சாத்தியமே.

ஆனால் Bi, மற்றும் Sb இவற்றின் கற்றையில் பெருமளவில் மூலக் கூறுகள் இருக்கின்றன..

நிச்சயமான சில நிகழ்ச்சிகளை மட்டும் எடுத்து விளக்குவதன் மூலம், பெறப்பட்ட முடிவுகள் எவ்வாறு ஏவரை அனுமாதிரியின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகளுக்கு அழகிய சான்றுகளாக அமைகின்றன என்று காட்டலாம்.

இடம்சார்ந்த குவான்டப்படுத்தல் (spatial quantisation) :

காந்தப்புலத்தின் திசையைப் பொறுத்து அணுகாந்தம் திசையமைவு கொள்வது (orientation) பற்றி தொன்மைக் கொள்கை எந்தவிதமான கட்டுப்பாடும் விதிக்கவில்லை. $\mu = M \cos \theta$ என்னும் தொடர்பில் θ என்னும் கோணத்திற்கு 0° முதல் 180° வரை எல்லா மதிப்புகளும் அனுமதிக்கப்படுகின்றன. ஆகவே ஒருபடித்தான தன்மையற்ற காந்தப்புலத்தில் அணுக்களுக்கு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி தொடர்ந்துள்ள எல்லை முழுவதிலும் பரவி இருக்கவேண்டும். ஆகவே ஏற்புத்தகட்டில் தொடர்ந்த பரவலான பட்டை ஒன்று பெறப்படல் வேண்டும். மேலும் கற்றையில் உள்ள அணுக்களின் மாக்ஸ்வல் வேகப் பங்கீடு (maxwell's distribution of velocities) காரணமாகச் சுவட்டின் செறிவு மிக்கப் பகுதி மையத்தில் அமைதல் வேண்டும். ஏனெனில் புலத்தின் திசையுடன் θ மற்றும் $\theta + d\theta$ ஆகியவற்றிற்கு இடைப்பட்ட கோணங்களை உண்டாக்கும் அச்சுக்களை (oxes) உடைய அணுக்களின் எண்ணிக்கை ஏறக்குறைய $\sin\theta$-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். ஆகவே அணுக்களில் பெரும்பகுதி புலத்திசைக்கு ஏறக்குறைய குறுக்குவாட்டில் திசையமைவு கொள்ளும் எனவே அவை மிகக் குறைந்த அளவில்தான் கோட்டமடையும்.

ஆனால் இடஞ்சார்ந்த வரையறுத்தல் கொள்கைப்படி காந்தப்புலத்தின் தினசயைப் பொறுத்து எல்லாவித அமைப்புகளும் இருக்க இயலாது. வரையறுக்கப்பட்ட, சில எண்ணிக்கையுடைய அமைப்புகளே இருக்க முடியும். அணுவின் கூடுதல் கோண மோதப்பாட்டு வரையறை எண் J என்றால் அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைவுகள் (permitted orientations) $(2J+1)$ ஆகும் ஆகவே தகட்டில் தொடர்ந்த பட்டையான சுவடு ஏற்படுவதற்குப் பதிலாக $(2J+1)$ எண்ணிக்கையுடைய தனித்தனியான சுவடுகள் உண்டாகவேண்டும். மேலும் ஆய்வுக்கான அணு ஒற்றை எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைச் சேர்ந்ததாகவும், கீழ்நிலை (grand state) யிலும் இருப்பின் $L=0$,

$S=\frac{1}{2}=J$ ஆகும். எனவே $(2J+1)=2$ ஆகும். ஆகவே இத் தகைய நிகழ்ச்சிகளில் இரண்டே திசையமைவுகள்தான் அனு மதிக்கப்படுகின்றன. எனவே தகட்டில் இரு சுவடுகளே பெறப் படுதல் வேண்டும். பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பில் அணுக்கள் அவற்றின் கீழ் நிலையில் J-க்கு அதிகமான மதிப்புகளைப் பெறுதல் இயலும். ஏனெனில் $L=0$ என்றாலும் $S=0,\ \frac{1}{2},\ \frac{3}{2},\ 2$ போன்ற மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கக்கூடும். மேலும் $J=S$ ஆகும். அனுமதிக்கப்பட்ட திசை அமைவுகள் இரண்டிற்கு அதிகமாக இருக்கும். எனவே அதிக சிக்கலான அமைப்புகளை எதிர்பார்க் கக்கூடும். எடுத்துக்காட்டாக $^6S_{\frac{5}{2}}$ உறுப்பினை உடைய அணுக் களுக்கு J என்பது $\frac{5}{2}$ ஆகையால் தகட்டில் 6 சுவடுகள் விழுந் தாகவேண்டும்.

இடஞ்சார்ந்த வரையறுத்தல் கொள்கையின் இம் முடிவுகள் எல்லாம், ஸ்டோன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் சோதனையின் விளைவுகள் மூலம் நன்கு சோதித்து அறியப்பட்டன. இவ்வாறு (i) மடக்கு நிலை அட்டவணையின் முதல் பிரிவினைச் சேர்ந்த H, *Li*, N*a*, K, C*u*, A*g*, A*u* ஆகியவையெல்லாம் அவற்றின் கீழ்நிலையில் $2S\frac{1}{2}$ என்னும் நிறமாலை உறுப்பினைப் பெற்றிருக்கின்றன. இதிலிருந்து $(2J+1)=2$ என்பது தெரிகிறது. கொள்கைப்படி நாம் எதிர் பார்ப்பது போலவே மேற்கூறிய தனிமங்கள் அத்தனையும் இரண்டே சுவடுகளைத் தருகின்றன. இத் தனிமங் களின் அணுக்கள் காந்தப் புலத்தில் நுழைந்த உடனேயே அவை களின் காந்த அச்சுக்கள் (magnetic axes) புலத்தின் திசைக்கு இணையான அல்லது மாற்றிணையான (antiparallel) அனுமதிக்கப் பட்ட இரு திசைகளில் மட்டுமே திசையமைவு கொள்ளுகின்றன. இடைப்பட்ட எந்த நிலையும் அனுமதிக்கப்படுவது இல்லை. மேலும் இந் நிகழ்ச்சியில் செய்முறைக் குறிப்புகளிலிருந்து பெறப் பட்ட μ-ன் மதிப்பு ± 1 என்று காட்ட இயலும்.

(ii) இரண்டாம் பிரிவினைச் சேர்ந்த Z*n*, C*d*, H*g* ஆகியவை நிறைவுற்ற மண்டலங்களுக்கு வெளியே இரு S எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்றுள்ளன. அவைகளின் நிறமாலைகள் குறிப்பிடுவது போன்று அவைகளின் இயல்பு நிலை (normal state) $^1S_0$ ஆகும். இதிலிருந்து $J=0$ என்பது தெரிகிறது. ஆகவே அணுவுக்கு முடிவான கோண மோதப்பாடோ அல்லது காந்த சுழற்றுத் திறனோ இல்லை. ஆகவே தான் இத் தனிமங்களின் அணுக்கள் மீது காந்தப்புலம் எவ்வித விளைவும் உண்டாக்க இயலவில்லை.

(iii) மூன்றாவது பிரிவினைச் சேர்ந்த T*l* நிறைவுற்ற தொகுதி களுடன் கூட ஒரு P எலெக்ட்ரானைப் பெற்றிருக்கிறது. இது $^2P_{\frac{1}{2}}$

என்னும் கீழ்நிலை உறுப்பினைப் பெற்றிருக்கிறது. அதாவது L=1, $S=\frac{1}{2}$ $J=\frac{1}{2}$ $(2J+1)=2$ எனவே சுவடுகளை உண்டாக்குகிறது. கணக்கிட்டுப் பார்த்தால் $\mu=\pm\frac{1}{3}$ என்பது கிடைக்கிறது. இம் மதிப்பு செய் முறை மூலம் பெற்ற விளைவுடன் முற்றிலும் பொருந்தி யிருக்கிறது.

(iv) நான்காவது பிரிவினைச் சேர்ந்த *Sn*, *Pb* ஆகியவை நிறைவுற்ற தொகுதியினை அமைக்காத இரண்டு P எலெக்ட்ரான் களைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆனல் அவைகளின் $^{3}P_{0}$ என்னும் இயல்பு நிலையில் கூடுதல் காந்த சுழற்றுத் திறன் மறைந்து விடுகிறது. எனவேதான் சோதனையில் இவைகளின் அணுக்கள் காந்தப் புலத்தினல் கோட்டமுறுவதில்லை.

(b) எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி :

நன்கு நிலைநாட்டப்பட்ட வெள்ளியின் நிகழ்ச்சியினை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். வெள்ளியின் அணுக்கற்றை காந்தப்புலத்தினல் ஏறக்குறைய சமச்செறிவுடைய இரு பகுதிகளாகப் பிளக்கப்படு கின்றன. இதை சோதனைகள் தெளிவாகக் காட்டியுள்ளன, மேலும் பெறப்பட்ட காந்த சுழற்றுத்திறனின் மதிப்பு ± 1 போர் மேக்னடான் ஆகும். கொள்கையின்படி வெள்ளி அணுவின் இயல்பு நிலையில் L=0 என்பதை அறிவோம் ஆகவே எலெக்ட் ரானின் தற்சுழற்சி இல்லை என்ருல் S என்பது சுழி ஆகும். ஆகவே J-யும் சுழி (zero) ஆகும். எனவே அணுக்கற்றை இரண்டாகப் பிளவுருது. இதற்கு மாருக எலெக்ட்ரானின் தற் சுழற்சியினை ஏற்றுக்கொண்டால் S-க்கு $\frac{1}{2}$ என்னும் மதிப்பினைக் கொடுக்கலாம். இதனல் கொள்கைக்கும் செய்முறைக்கும் இடையே நல்ல ஒற்றுமை காணப்படும்,

காந்தத்தின் அணு மற்றும் குவான்டத் தன்மை (atomic and quantum nature of magnetism) :

காந்தத்தின் அணுத்தன்மை பற்றிய கருத்து வெப்பர் (weber) காலத்தியதாகும். இணைக்காந்தப் பொருள்கள் (paramagnetic substances) நிலையான மூலக்கூறு காந்தத் திருப்புதிறனை (molecular magnetic moment)க் கொண்டிருக்கின்றன என்ற கருத்தும், ஆனல் டயா காந்தப் பொருள்கள் (dia magnetic substances) அத்தகைய சுழற்றுத் திறனைக் கொண்டிருப்பதில்லை என்ற கருத்தும் காந்தம் பற்றிய பௌதிகக் கொள்கையில் நெடுங் காலத்திற்கு முன்னரே நிலை நிறுத்தப்பட்ட ஒன்றுதான். ஆம்பியரின் மூலக்கூறு மின்னேட்டப் புனைவுகோள் (molecular current hypothesis) அடிப்படையில் இக் கருத்தினை முதலில்

உருவாக்கியவர் வெப்பர் (weber) ஆகும். இணைக்காந்தத்தின் இயல்பு பற்றி வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை (kinetic theory) யின் அடிப்படையிலும், குறுக்குக் காந்தத்தின் இயல்புபற்றி முதுபழம் எலெக்ட்ரான் கொள்கை (classical electron theory) யின் அடிப்படையிலும் லாங்வின் (longevin) என்பவர் கூறிய விளக்கத்தினால் இது பின்னர் உறுதியாயிற்று. (......பக்கம் பார்க்க) 1911-ல் வெய்ஸ் (Weiss) என்பவர் அப்போது கிடைத்த செய்முறைக் குறிப்புகளைக் கொண்டு காந்த சுழற்றுத்திறனுக்கு ஓர் அடிப்படை அலகு (units) உண்டு என்றும், அணு மற்றும் மூலக்கூறு இவைகளின் சுழற்றுத்திறன் எல்லாம் அந்த அலகின் பெருக்குத் தொகைகளே ஆகும் என்றும் முடிவு செய்தார். இந்த அலகு அவருடைய பெயராலேயே "வெய்ஸ் மேக்னடான்" (weiss magneton) என அழைக்கப்பட்டது. இதன் மதிப்பு கிராம் அணு அல்லது கிராம் மூலக்கூறுக்கு 1123·5 காஸ்-செ. மீ. எனக் கணக்கிடப்பட்டது. இதிலிருந்து ஓர் அணு அல்லது ஒரு மூலக்கூறுக்கு $1 \cdot 85 \times 10^{-21}$ காஸ்-செ. மீ. என்றாகிறது. (...... பக்கம் பார்க்க) குவான்டக் கொள்கை (quantum theory) தோன்றியவுடன் போர் மேக்னடான் என்னும் மற்றொரு அலகு நடைமுறைக்கு வந்தது. அதன் மதிப்பு கிராம் அணுவுக்கு 5590 காஸ்-செ. மீ. அல்லது அளவுக்கு $9 \cdot 21 \times 10^{-21}$ காஸ்-செ. மீ. ஆகும். இது பழைய அலகினைப் போல ஏறக்குறைய ஐந்துமடங்கு இருக்கிறது. (...... பக்கம் பார்க்க)

ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் செய்முறை, இணைக் காந்தம் மற்றும் குறுக்குக் காந்தம் ஆகியவைப் பற்றி தொன்மைக் கொள்கை கொண்டிருந்த பொதுவான முடிவுகளை உறுதி செய்வதுடன் காந்தத்தின் ஆற்றல் முடிச்சுத் தன்மையினையும், அது அணுவினை மூலமாகக் கொண்டிருக்கிறது என்பதனையும் நிலை நிறுத்துகிறது. எவ்வாறெனில் முதலாவதாகச் செய்முறைகளிலிருந்து கிடைத்த முடிவுகளின்படி குறுக்குக் காந்த இயல்பு கொண்டவை என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பொருள்களுக்கு அணு காந்த சுழற்றுத் திறன் இல்லை ($\mu = 0$) எடுத்துக்காட்டு : Zn, Cd Hg, Pb, Sn போன்றவை. இணைக் காந்த இயல்பு கொண்ட பொருள்கள் கீழ் நிலையில் ஒரு சேர்திறன் எலெக்ட்ரானைக் (monovalent electron) கொண்ட அணுக்களால் ஆனவை. ஆகவே கட்டுப்பாடற்ற (free) ஒற்றை எலெக்ட்ரானின் தற் சுழற்சியினால் ஒரு போர் மேக்னடான் அளவு காந்த சுழற்றுத் திறனை அடைகின்றன. எடுத்துக்காட்டு : H, Li, கார வகைகள், Cu, Ag மற்றும் Au என்பன. அயகாந்தப் பொருள்கள் (ferro magnetic substances) (Fe, Co, Ni) நிறைவுறாத எலெக்ட்ரான் மண்டலங்களை

இடையே உடைய அணுக்களால் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவைகளின் அணு சுழற்றுத் திறனின் மதிப்பு மிக மிக அதிகம்.

இரண்டாவதாகக் காந்த சுழற்றுத் திறனுக்கு உண்மையான அடிப்படை அலகு போர் மேக்னடான் தானே தவிர வெய்ஸ் மேக்னடான் அல்ல என்பதை இம் முடிவுகள் நிலைநாட்டுகின்றன. பிந்திய அலகு தொன்மைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அமைந்த ஒன்று அக் கொள்கையின்படி அணு அச்சு புலத்திசையைப் பொறுத்து எவ்வகையான திசையமைப்பும் கொண்டிருக்கக் கூடும். ஆகவே இது உண்மையில் இருக்க முடியாத ஒன்றாகும். முந்தியது ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் செய்முறையிலிருந்து கிடைத்த ஒன்றாகும். இது ஆற்றல் முடிச்சுக் கொள்கையுடன் ஒத்துப் போகிறது. ஆகவே இது மட்டுமே உண்மையில் இருக்க இயலும்.

ஏவரை அணு மாதிரி மிகச் சிறந்த, பல துறை நோக்குடையது என்பதில் ஐயமில்லை. இது அணுவின் அமைப்பு, மற்றும் நிறமாலை நிகழ்ச்சிகள், இவை பற்றிய முக்கியமான பல கடுஞ் சிக்கல்களைத் தீர்ப்பதற்குப் பெரிதும் துணை புரிகிறது.

அலைவிசையியல் அணுமாதிரி

(Wave mechanical atom model)

வெக்டார் அணுமாதிரி, அதன் கோட்பாடுகள் (principles) மற்றும் எடு கோள்கள் (postulates) ஆகியவற்றிற்குக் கொள்கை நியதி உடைய ஒரு முழுமை பெற்ற அமைப்பாக இல்லை. இது இதிலுள்ள ஒரு பெரிய குறையாகும். இக் கோட்பாடுகளும் எடு கோள்களும் சிறிது சிறிதாக செயலறி குறிப்புகளால் (cunpirical data) சிலவும், ஒப்பு நோக்கு முறையில் (analogy) சிலவுமாக சேர்க்கப்பட்டவைகளாகும். எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சிக்கு அரை-முழு எண் (half-integer) மதிப்பு கொடுத்ததற்கான தகுந்த காரணங்கள் கூறப்படவில்லை. வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகள் பற்றிய புனைவும் (assumption) அணு இந் நிலைகள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்குச் செல்லும்போது கதிர் வீச்சு உமிழ்வு (emission of radiation) ஏற்படுகிறது என்னும் புனைவும் பழைய மாதிரிகளில் உள்ளதே போன்ற காரணமற்ற கோட்பாடுகளே ஆகும். எனவே வெக்டார் அணு மாதிரி (vector atom model) நல்ல கொள்கை அடிப்படையில் அமையவில்லை. மிக அண்மைக் காலத்தில் வந்த கொள்கையாகிய அலைவிசையியல் அணுமாதிரி (wave mechanical atom model) என்னும் கொள்கை இக் குறை

யைப் போக்கி அணுவின் விளிம்பு எலெக்ட்ரான் அமைப்பினைத் (peripheral electron structure) தருகிறது. இவ்வமைப்பு நமக்குத் தெரிந்த அளவில் மிக உயர்ந்த அமைப்பாகும்.

இவ்வமைப்பினைப் பற்றிய விரிவான ஆய்வு இந்நூலின் நோக்கிற்கு அப்பாற்பட்டதாகும். அலைவிசையியல் அடிப்படையில் எலெக்ட்ரானின் சார்பியல் கொள்கை பற்றி டிராக் (Dirac) என்பவர் கூறிய சிறந்த விளக்கம் எத்தகைய சிரமமும் இன்றி ஏவுரை அணுமாதிரியின் அடிக்கோள்கள் (postulates) மற்றும் முடிவுகள் இவற்றிற்கான கொள்கை நியதியினைத் தருகிறது. இப் புதிய கருத்தின் முக்கியமான இயல்புகளைச் சுருங்கக் கூறி, மற்றக் கொள்கைகளைக் காட்டிலும் இது எவ்வாறு சிறந்ததாக இருக்கிறது என்று காட்டுவதோடு நாம் நிறுத்திக் கொள்வோம்.

எலெக்ட்ரான் பற்றி முழுதும் அறியும்பொருட்டு அலைவிசையில்படி நாம் இதனை துகள் மற்றும் அலை என்னும் இரு வகையினதாக நோக்குதல் வேண்டும். ஆகவே இயங்கும் ஓர் எலெக்ட்ரானைக் குறிப்பிட்ட ஓர் இடத்தில் காணும் வாய்ப்பு அலையால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. எனவே அதன் இடத்தைப் பற்றிய ஒரு நிச்சயமற்ற தன்மை ஏற்பட்டு விடுகிறது. நன்கு வரையறை செய்யப்பட்ட வீதியில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் எலெக்ட்ரானை வைத்திருந்த பழைய மாதிரிகள் (older models) எலெக்ட்ரானின் உண்மையான இயல்பினை கவனிக்கவே இல்லை. இதுதான் அவைகளில் காணப்பட்ட குறைகளுக்கு முடிவில் காரணமாயிற்று.

அணுவின் அலைவிசையியல் கொள்கையினை, சிக்கல் நிறைந்த கணித முறை கொண்டு விவரிக்காது, மற்ற வகை அலைகளுடன் ஒப்பிட்டு அறியும் எளிய முறையில் விளக்குதல் கூடும். ஏதோ ஒரு பிறப்பிடத்திலிருந்து உமிழப்பட்டு வெற்றிடத்தின் வழியே பரவிச் செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள், பெரிய குளம் ஒன்றின் நீர்ப்பரப்பில் ஏற்படும் சிற்றலைகளைப் போன்றிருக்கின்றன. இந்த அலைகள் தோன்றிய இடத்திலிருந்து விரிந்துகொண்டே செல்லும் வட்டங்களாக முன்னேறிச் செல்லுகின்றன. தோன்றிய இடத்திலிருந்து அவைகளின் தூரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவை வலுவற்றவை ஆகி இறுதியில் மறைந்து போய்விடுகின்றன. ஆனால் ஓர் அணுவில் உள்ள அணுக்கருவின் நிலையின் இயல் ஈர்ப்பு விசைக்கு (electro static attrative force) உட்பட்டு அணுக்கருவின் அருகாமையிலிருந்து நீங்க முடியாத எலெக்ட்ரான்கள் வாய் குறுகிய பாத்திரம் ஒன்றின் சுவர்களில் சிறு அலைகள் பிரதிபலிக்கப்படும்போது உண்டாகும் அசையா

அலைகளைப் (stationary waves) போன்றவை அல்லது இன்னும் நன்ருகக் கூறுமிடத்து இழுத்துக்கட்டப்பட்ட நூல் இழை ஒன்றில் பல வளையங்களுடனும் பல அதிர்வு நிலைகளைக் காட்டும் கணுக்களுடனும் (nodes) கூடிய அசையா அலைகளைப் போன்றவை ஆகும். இந்த உவமையின் அடிப்படையில் எலெக்ட்ரான் அலைகள் அணுவின் எல்லையை அடைந்தவுடன் பின்னேக்கிப் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன என்று கூறலாம். எனவே அணுவின் உள்ளே ஒருவகையான அசையா அலைகளைக் கற்பனை செய்து கொள்ளலாம்.

அணுவின் இத்தகைய உருவகத்திலிருந்து பல முக்கியமான முடிவுகளைப் பெறலாம்.

(1) அணுவில் உள்ள எலெக்ட்ரான்கள் ஒவ்வொன்றும் தனிப் பண்பு கொண்ட துகள்கள் என்ற கருத்து மறைகிறது. வரையறுக்கப்பட்ட வீதியில் எலெக்ட்ரானுக்குக் குறிப்பிட்ட ஓர் இடத்தை அளிப்பதும் இனியும் சரியல்ல. அசையா அலைகளின் வளையங்கள் (loops) மற்றும் கணுக்கள் (nodes) இவைகளுக்கு ஏற்பப் பங்கீடு சீராக இல்லை என்ருலும் எலெக்ட்ரானின் நிகழ் திறன் (probability) அணுவின் எல்லை முழுதும் பரவி இருக்கிறது. இதே காரணத்திஞல்தான் ஓர் அணுவில் பல எலெக்ட்ரான்கள் இருப்பின், நிகழ் திறன் அலைகளில் (probability waves) ஏதாவது ஒன்றின் ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதி, ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட எலெக்ட்ரானைச் சேர்ந்த எலெக்ட்ரான்களைக் குறிக்கிறது என்று கூற முடியாது. ஆகையால் அந்த எலெக்ட்ரான்கள் ஓரளவு அவைகளின் தனித்தன்மையினை இழக்கின்றன.

2. அணுவின் தெளிவற்ற உருவம் (Nebulous picture of atom)

அணுக் கருவில் இருந்து எந்தத் தூரத்திலும் எலெக்ட்ரானின் நிகழ் திறன் திடீரென மறைந்து விடுவதில்லை—அது வரையிலி தூரத்தில்தான் சூழியாகிறது—ஆகவே அணு அதன் பழைய வரையறுக்கப்பட்ட வீதிகளைக் கொண்ட தெளிவான உருவின் பெரும் பகுதியை இழந்து விடுகிறது. எனவே வெளியின் (space) எந்த இடத்திலும் ஓர் எலெக்ட்ரானைக் காணும் வாய்ப்பு கொள்கை அளவில் ஏற்பட்டுவிடுகிறது. ஆனுல் நிகழ் திறன் விரைவில் சிறிய மதிப்பினை அடைகின்ற இடம் ஒன்று இருக்கிறது. இது தான் நாம் சாதாரணமாகக் கூறுகின்ற அணுவின் எல்லை என்பதாகும்.

3. அணுவின் வரையறுக்கப்பட்ட அசையா நிலைகள் (Quantum stationary states of atom) :

அசையா எலெக்ட்ரான் அலைகள் (stationary electron waves) பல்வேறு அதிர்வு நிலைகளில் (modes) அதிர்தல் கூடும். ஆகவே பல்வேறு அலை நீளங்களும், அதிர்வு எண்களும் உடையன. எனவே இவ்வமைப்பில் பல அளவுள்ள ஆற்றல்கள் உண்டு. இந் நிகழ்ச்சி பற்றிய கணித முறை விளக்கத்தில் சில குறிப்பிட்ட கெழுக்களுக்குத் (coefficients) தகுந்த மதிப்புகள் தந்தால்தான் அசையா அலையினைக் குறிக்கும் அலை சமன்பாட்டினை (wave equation) தீர்த்தல் இயலும் அப்படித் தருகின்ற மதிப்புகள் முழு எண்களாகவோ. அல்லது சில சமயங்களில் அடிப்படை அதிர்வு எண்ணின் பல்வேறு மேற் சுரங்களைப் (harmonics) போன்ற பின்னங்களாகவோ இருத்தல் வேண்டும். இக் கெழுக்கள் பழைய மாதிரிகளின் வரையறை எண்களை (quantum numbers) ஒத்தவை யாகும். இங்கு அவை அலைச் சமன்பாட்டிற்கான தற்சிறப்புக் கொண்ட தீர்வுகளாக (characteristic solutions) இயல்பாக வரு கின்றன. ஆனல் பழைய கொள்கைகளில் அவை செயற்கையாக நுழைக்கப்பட்டன. அவை நுழைக்கப்பட்ட தற்கான ஒரே காரணம் செய் முறையில் கண்ட அணு மற்றும் நிறமாலை நிகழ்ச்சிகளுக்கு நிறைவுதரும் விளக்கம் கொடுக்க அவை தேவைப்பட்டன என்பது தான்.

4. அசையா அலைகளின் கதிர் வீசாப் பண்பு (Non-radio active character of stationary waves)

அசையா அலை அமைப்பில் குறிப்பிட்ட எந்த ஒரு புள்ளியிலும் வீச்சு மாருத ஒன்ருகும். இது நேரத்திற்கு ஏற்ப மாறுவதில்லை. அலைவிசையியல் அணுவினை, அணுக் கருவைச் சூழ்ந்துள்ள எலெக்ட்ரான் மேகம் (electron cloud) என்ருே அல்லது அணுவில் உள்ள மின்னூட்ட அடர்த்திப் பங்கீடு என்ருே கொண்டு அலை வீச்சின் இருமடியினை மின்னூட்ட அடர்த்தியின் அளவாகக் கொண்டால் எந்த ஓர் இடத்திலும் மின்னூட்ட அடர்த்தி நேரத் தைப் பொறுத்தது அல்ல என்ருகும். இதிலிருந்து அணுவின் எந்த ஓர் அசையா நிலைக்கும் (stationary state) அதன் உண்மையான ஆற்றல் மதிப்பு எவ்வளவு அதிகமாக இருப்பினும் மின்னூட்டப் பங்கீடு நிலையான ஒன்ருக இருக்கும் என்ருகிறது. அதாவது நேரத்தோடு மாறிக்கொண்டு போகாது — அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளில் மின்னூட்ட அசைவுகள் இல்லை. ஆதலால் இத்தகைய நிலையில் உள்ள அணு தொன்மை மின்னியக்க இயல் (electro dynamics) கொள்கைக்கு ஏற்ப மின்காந்த ஆற்றலை வீச இயலாது.

5. போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாட்டிற்கு இணங்க கதிர் வீச்சினை உமிழ்தல் (Emission of radiation governed by Bohr's frequency condition)

ஓரளவு வேறுபட்ட இரு அதிர்வு எண்கள் மீதூரும்படி செய்யப்பட்டால் விம்மல்களை (beats) எனப்படும் நிகழ்ச்சியினை உண்டாக்குகின்றன. இந் நிகழ்ச்சியில் மீதூர்ந்த இரு அதிர்வு எண்களின் வித்தியாசத்தினை அதிர்வு எண்ணுகவுடைய வீச்சு மாறி மாறி வளர்ந்தும் குறைந்தும் காணப்படுகிறது. இதே போன்று அணுவின் அனுமதிக்கப்பட்ட இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கு உரிய அலை அமைப்பினுடைய இரு வேறு அதிர்வு நிலைகளை (modes) அவை ஒன்றின்மீது மற்ரொன்று மீதூரும்படி ஒரே சமயத்தில் கிளர்ச்சியுறச் செய்ய முடியுமாளுல் இரு எலெக்ட்ரான் அலைகளின் அதிர்வு எண்களுக்கும் இடையில் ஒரு செகண்டிற்கு எத்தனைத் துடிப்புகள் ஏற்படுகின்றனவோ அதை அதிர்வு எண்ணுக உடைய ஒரு கதிர் வீச்சு உமிழப்படும். ஏனெனில் நாம் மறுமுறையும் அலை விசையியல் மாதிரியின் அதிர்வு வீச்சின் இரு மடியினை மின்னூட்டச் செறிவின் அளவு என்று கொண்டால் பல் வேறு ஆற்றல் நிலைகள் ஒரே சமயத்தில் கிளர்ச்சியுற்ருல் எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலும் மின்னூட்டச் செறிவு மாருது இருப்ப தில்லை. என்பதுடன் நேரத்திற்கு ஏற்ப மாறும் என்பதையும் எளிதில் அறியலாம்.

ஆகவே அங்கு மின்னூட்டத்தின் அதிர்வு உண்டாகி மின் காந்த அலைகள் உண்டாக்கப்படுதல் வேண்டும். உமிழப்பட்ட இந்த அலைகளின் அதிர்வு எண் 'துடிப்பு' அதிர்வு எண்ணே ஆகும். ν_L என்பது உமிழப்பட்ட கதிர் வீச்சின் அதிர் எண் என்றும் ν_1 மற்றும் ν_2 என்பன மீதூர்ந்த அதிர்வுகளின் அதிர்வு எண் என்றும் கொண்டால்.

$$\nu_L = \nu_1 - \nu_2 \text{ ஆகும்.}$$

அலை விசையியல் கொள்கைப்படி அசையா நிலையின் ஆற்ற லாகிய W என்பது $W = h\nu$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறப் படுகிறது. இங்கு ν என்பது அந் நிலைக்குரிய எலெக்ட்ரான் அலையின் அதிர்வு எண் ஆகும் எனவே $\nu_1 = \frac{W_1}{h}$ என்றும் $\nu_2 = \frac{W_2}{h}$ என்றும் ஆகும். இங்கு W_1 மற்றும் W_2 என்பன பங்கு பெறும் இரு நிலைகளின் ஆற்றல் அளவுகளாகும்.

$$\therefore \quad \nu_L = \frac{W_1 - W_2}{h}$$

இவ்வாறு அலை விசையியல் அணு மாதிரியினைக் கொண்டு பழைய மாதிரிகள் புனைந்துரைத்துக் கொண்ட அடிக்கோள்கள் அத்தனைக்கும் போதிய விளக்கந்தர முடிகிறது. மேலும் ஓர் அறிவியல் கொள்கையில் அடிக்கோள்களின் எண்ணிக்கையைக் குறைத்துத் தன்னை ஒரு முழுமை பெற்ற அமைப்பாகக் காட்டிக் கொள்கின்ற தனிச் சிறப்பும் இம் மாதிரிக்கு உண்டு.

வினாக்கள்

1. அணுவின் அமைப்புப் பற்றிய புதுமைக் கருத்தினை விளக்கி ஒரு கட்டுரை வரைக.
(சென்னை 1949, அலகாபாத் 1949)

2. அணுவின் அமைப்பினைத் தொகுத்துக் கூறுக.
(பஞ்சாப் 1954, 1956)

3. ஹைட்ரஜன் நிறமாலை பற்றிய போரின் கொள்கையின் அடிப்படைக் கருத்துகளைக் கூறுக.

   ரிட்பர்க் மாறிலியின் மதிப்பு 109137 செ.மீ$^{-1}$ என்ருல் பாமர் தொடரில் உள்ள ஹைட்ரஜன் H_α வரியின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.
(விடை : 6560 A° சென்னை 1950)

4. ஹைட்ரஜன் அணு பற்றிய போரின் கொள்கையினைச் சுருக்கமாகக் கூறி, அக் கொள்கை ஹைட்ரஜன் நிற மாலைக்கு எவ்வளவு காரணங் கூறி விளக்குகிறது என்று காட்டுக. (பரோடா 1954, பஞ்சாப் 1952, 1955)

5. ஹைட்ரஜன் அணுக் கருவைச் சுற்றி வரும் ஓர் எலெக்ட்ரான், அது நிலைமின் ஈர்ப்பு ஆற்றலினுல் அணுக் கருவுக்குள் இழுக்கப்படாமலிருக்க என்ன வேகத்தில் சுற்றிவர வேண்டும்? எலெக்ட்ரான் வீதியின் ஆரம் $0{\cdot}5 \times 10^{-8}$ செ.மீ. எலெக்ட்ரான்களின் பொருண்மை $9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ கிராம் மின்னூட்டம் $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ மி.நி. அலகுகள் (e.s.v) என்றும் கொள்க.
[விடை : $2{\cdot}25 \times 10^{-10}$ செ.மீ/செ. (பஞ்சாப் 1952)]

6. அணுக்கள் பற்றிய போரின் கொள்கையினை விளக்கி ஒரு கட்டுரை வரைக. (சாகர் பல்கலைக் கழகம் 1951)

7. ஹைட்ரஜன் அணு மற்றும் அது போன்ற அணுக்களின் எளிய அமைப்பினைக் குறித்து அவைகளின் நிறமாலைகள் காட்டுகின்றவாறு ஒரு கட்டுரை வரைக.

(ஆக்ரா 1951)

8. போரின் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஏதாவது ஒரு வீதியின் ஆரத்திற்கான சமன் பாட்டினைப் பெறுக. $h = 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ எர்க்.செக $m = 9.11 \times 10^{-28}$ கிராம் மற்றும் $e = 4{\cdot}804 \times 10^{-10}$ நி.மி அலகுகள் என்றால் முதல் வீதியில் உள்ள எலெக்ட்ரானின் வேகம் என்ன ? (டெல்லி 1949)

9. தனிமங்களின் முழக்க அதிர்வு மின்னழுத்தம் (resonance potential) மற்றும் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் என்னும் சொற்களையும், மீண்டெழு மோதல் மற்றும் மீண்டெழா மோதல் என்னும் சொற்களையும் வரையறு.

ஓர் ஆவியின் மாறுதான மின்னழுத்தத்தினைக் கணக்கிடுவதற்கேற்ற செய்முறையினை விரிவாகக் கூறு. அணு நிறமாலைக் கொள்கையில் மாறுதான மின்னழுத்தத்தின் முக்கியத்துவம் பற்றி குறிப்பிடு.

(சென்னை பி.எஸ்ஸி ஆனர்ஸ் 1941)

10. தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் என்பவை யாவை ? அவைகளின் தோற்றம் (production) எவ்வாறு காரணங் காட்டி விளக்கப்படுகிறது.

11. மோஸ்லி விதி என்ன ? அணுவின் அமைப்புப் பற்றிய வரையில் அதன் முக்கியத்துவம் யாது ?

(பஞ்சாப் 1951)

12. ஓரினச் சிதறல் (coherent scattering) மற்றும் ஓரின மற்ற சிதறல் (incoherent scattering) என்பவைகளின் பொருளை விளக்குக. திரவங்கள் திண் பொருள்கள் மற்றும் வாயுக்கள் ஆகியவற்றின் இராமன் நிறமாலை ஆய்வுக்கான செய் முறை அமைப்பினை விவரி.

(சென்னை பி.எஸ்ஸி (ஆனர்ஸ்) 1940-1941)

13 ஏவரை அணுமாதிரியை விவரித்து எழுது. அத்துடன் தொடர்புடைய பல்வேறு வரையறை எண்களை விளக்கிக் கூறு. புதுமைக் குறியீடுகளைப் பயன்படுத்தி Cu (29)-ன் எலெக்ட்ரான் அமைப்பினை எழுதி விளக்குக.

[சென்னை பி.எஸ்ஸி (ஆனர்ஸ்) 1947]

14. அணுவின் அமைப்புக் குறித்துச் சிறு குறிப்பு வரைக. ஓர் அணுவின் இறுதி மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் தனிச் சிறப்பினை விளக்குக (சென்னை 1951)

15. பௌலியின் நீக்கல் கோட்பாட்டினைக் கூறு. தனிமங்களை மடக்கு நிலையில் வரிசைப்படுத்துவதில் அதன் பயன்களை ஆராய்க.

(சென்னை பி.எஸ்ஸி (ஆனர்ஸ்) 1949, 1950, 52)

16. ஸ்டேர்ன் மற்றும் கெர்லாக் ஆகியோரின் செய்முறையை விவரி. அதன் மூலம் பெற்ற முடிவுகளின் சிறப்புப் பற்றி கூறுக.

17. குறிப்பு வரைக :

(a) அணுவின் அமைப்பு (பஞ்சாப் 1948)
(b) அணுவின் அணுக்கரு கொள்கை (சென்னை 1938)
(c) நிறமாலைத் தொடர்கள் (சென்னை 1949)
(d) தற்சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் (சென்னை 1951)
(e) விண்ணின் நீல நிறம் (சென்னை 1950)
(f) தொடர்ந்த எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை
(g) நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு.

கலைச் சொற்கள்

A

Anode	—	நேர்மின்வாய்
Anticathode	—	மாற்று எதிர்மின் வாய்
Anode rays	—	நேர்முனைக் கதிர்கள்
Alhali metals	—	காரவகையைச் சேர்ந்த உலோகங்கள்
Accellration	—	முடுக்கம்
Angles of deviation	—	திசை மாற்றுக் கோணம்
Actual Mass	—	உண்மைப் பொருண்மை
Asymmetric	—	சமச்சீர்
Atomic number	—	அணு எண்
Artificial disintegration	—	செயற்கைச் சிதைவு
Atomic spectra	—	அணு நிறமாலை
Analysis of organic compounds	—	
Artificial transmutation	—	செயற்கைத் தனிம மாற்றம்
Atomic reactors	—	அணு உலைகளில்
Abundance ratio	—	செழிப்பு விகிதம்
Auxilary discharge tube	—	துணை மின்னிறக்கக் குழாய்
Alternating	—	திசை மாறும் தன்மை
Apertures	—	துளைகள்
Avogadro's number	—	அவொகட்ரோவின் எண்
Anisotropic	—	திசையொவ்வாப் பண்பு
Angular orientations	—	கோணத்திசை அமைப்பு
Arcs	—	வட்டவில்
Angel of diffraction	—	விலகு கோணம்
Astronomy	—	வானியல்
Absolute space	—	சார்பற்ற வெளி
Abstration	—	கருத்தளவு
Absolute motion	—	சார்பற்ற இயக்கம்

Absolute time — சார்பற்ற காலம்
Addition of Velocities — வேகங்களைச் சேர்த்தல்
Absolute Constant — சார்பிலா மாறிலி
Absolute Vacuum — முழு வெற்றிடம்
Annihilation of matter — பொருளை அழித்தல்
Acceleration due to gravity — புவியீர்ப்பு முடுக்கம்
Action at a distance — தொலைவில் செயல்படல்
Atomic Process — அணு நிகழ்வு
Amplitude — வீச்சு
Action of electric vector — மின் ஏவரைச் செயல்
Anomalous — முறண்பட்டது
Angular position — கோண நிலை
Angular distribution — கோண வகைப் பங்கீடு
Azimuth — முகட்டு வட்டை
Analogical conception — எளிய உவமைக் கருத்து
Asymptotes — ஈறிலித் தொடுகோடு
Angular momentum — கோணவியல் உந்தம்
Angular element — கோண வகைக் கூறு
Acoustrics — ஒலியியலில்
Axiom — மூலக்கோள்
Absorption phenomena — உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சி
Absorbability — உட்கவர் திறன்
Anti stohes lines — மாற்று ஸ்டோக்ஸ் வரிகள்
Acidulated quinion sulphate solution — அமிலம் சேர்க்கப்பட்ட குனைன் சல்ஃபேட் கரைசல்
Atmospheric Pressure — வளி மண்டல அழுத்தம்
Angular or Azimuthai quantum number — கோணநிலை அல்லது முகட்டு வட்டை குவாண்டம் எண்
Anomalous Zeeman effect — முரணிய சீமன் விளைவு
Assumption — தற்கோள்
Alkali group — காரத் தொகுதி
Alkaline earths — புவிக் காரங்கள்
Alkali elements — காரத் தனிமங்கள்
Are spectruon — வில் விளக்கு நிறமாலை
Ampere's theorem — ஆம்பியர் தேற்றம்
Angular momention — கோண உந்தம்
Atomic magnet — அணு காந்தம்
Atomic rays — அணுக் கதிர்கள்
Absolnte temperature — சார்பற்ற வெப்பநிலை
Abence — தோன்றுத் தன்மை

Antiparallel — மாற்று இணை
Azimuthal guantum number — முகட்டுவட்டை குவாண்டம் எண்

B

Binding energy — பிணைக்கும் ஆற்றல்
Body centred cube — உருவமையங் கொண்ட க்யூப்
Bohr's frequency condition — போரின் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாடு
Band system — பட்டை அமைப்பு
Betatram — பீட்டாடிரான்
Bohrs Atom model — போர் அணு மாதிரி
Black body radiation — கருமைப் பொருளின் கதிர்வீச்சு
Body centred cube — உருவமையங் கொண்ட க்யூப்
Beats — விம்மல்கள்
Bismuth — பிஸ்மத்
Boltzmann's constant — போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி
Bohrmagneton — போர் மேக்னடான்
Balmer seris — பாமர் தொடர்

C

Cathode — எதிர்மின்வாய்
Cylindrical discharge tube — உருளை வடிவ மின்னிறக்கக் குழாய்
Compositen anode — கலப்பு நேர்மின் வாய்
Cathode rays — எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள்
Constant — மாறிலி
Co-ordinates — ஆயத் தொலைவு
Capillary tube — நுண் குழாய்
Cothmated — வரிப்படுத்துதல்
Convergent — குவியும் கற்றை
Calibration curve — பண்பறி வளைகோடு
Comparator — கம்பரேட்டர்
Conduction — வெப்பக் கடத்தல்
Chemical Element — இரசாயனத் தனிமம்
Constituent Partieles — ஆக்கக்கூறு
Crystals — படிகங்கள்
Charges — மின்னூட்டங்கள்
Characteristic spectra — தற்சிறப்பிணைக் காட்டும் நிறமாலை

Compton effect — காம்டன் விளைவு
Coolidge tube — கூலிட்ஜ் குழாய்
Cathode ray discharge tube — எதிர்மின் கதிர்க் குழாய்
Cold cathode — தண் எதிர்மின் வாய்
Cup — கிண்ணம்
Condenser — மின்னேற்பி
Constant of Proportionality —
Co-efficient of obsorption — உட் கவர் எண்
Corpuscular rays — நுண்ணிமக் கதிர்கள்
Characteristic rays — தற்சிறப்புக் கதிர்கள்
Crystal grating — படிகக் கிராதி
Condition — கட்டுப்பாடு
Crystat X-ray spectrometer — படிக எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை அளவி
Cleavage face — செதுக்கப்பட்ட முகப்பு
Curne — வளைக் கோடு
Characteristic line spectra — தனிச்சிறப்பு வரி நிறமாலை
Continous spectra — தொடர் நிறமாலை
Critical angle — மாறுதானக் கோணம்
Critical glancing angle — மாறுதான சாய் கோணம்
Characterestics — தற்சிறப்புப் பண்புகள்
Coherent Scattering — ஓரினச் சிதறல்
Crystallo-graphic studies — படிக இயல் ஆய்வு
Characteristic cubic lattice — தற்சிறப்புக் கன சதுரப் பின்னல்
Clock work mechanism — வில்விசை அமைப்பு
Crystallographic axes — படிக வியல் அச்சு
Crystalline state — படிக நிலை
Characteristic solution — தற்சிறப்புக் கொண்ட தீர்வு
Contineous X-Ray spectrum — தொடர்ந்த எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை
Characteristic X-Ray spectrum — தற்சிறப்பு எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை
Chemical forces — இரசாயன விசை
Consideration of symmentry — சரிச்சீரமைவுக் கணக்கீடு
Complementary filters — நிரப்புவண்ண வடிகட்டி
Crystal lattic — படிக அணுக் கோவை
Conservation on energy — ஆற்றல் அழியா விதி
Chemical bond — இரசாயனத் தளை
Co-valent molecules — பகிர்ந்தளையும் மூலக்கூறு
Component parts — ஆக்கக் கூறு

Conduction electrons — கடத்தல் எலெக்ட்ரான்கள்
Cross fire method — குறுக்குச் சுடுமுறை
Contineous diffusion — தொடர்ந்து பரவச் செய்யும்
Critical potencial — மாறுநிலை மின்னழுத்தம்
Coherent scattered radiation — முதல் உறுப்பு மாற்றப்படாத சிதறல் கதிர் வீச்சு
Chemical inestness — இரசாயன செயலற்ற நிலை
Compounds — கூட்டுப் பொருள்கள்
Conservation of momentum — உந்தம் அழியா விதி
Component — ஆக்கக் கூறு
Coincident — ஒன்றும், ஒத்திசையும்
Coincident levels — ஒத்திசையும் மட்டங்கள்
Continuous lines — தொடர்ந்த கோடுகள்
Constant — மாறிலி
Comple — ஜோடிவிசை
Convergencc — ஒருங்கு தன்மை
Carrier — சுமந்து செல்லும் (துளிகள்)
Classical electron theory — முதுபழம் எலெக்ட்ரான் கொள்கை
Cocfficients — கெழுக்கள்
Co-hevent scattering — ஓரினச் சிதறல்
Copper ore spectrum — காப்பரின் வில்விளக்கு நிறமாலை
Continuous lines — தொடர்ந்த கோடுகள்
Central orbit — மையவிசை வீதி
Cubic — கனச் சதுரம்
Concentration of atoms — அணுச் செறிவு
Cone — கூம்பு
Concentric halos — மைய ஒளி வட்டம்
Cylindrical camera — உருளை வடிவ ஒளிப்படப் பெட்டி
Crocks — கீறல்
Coordinates — ஆயத் தொலைவு
Contraction hypothesis — குறுக்குப் புனைவு கோள்
Classical dynamics — முழுபழம் இயக்க வியல்
Conservation of energy — ஆற்றலின் அழிவின்மை
Conservation of mass — நிறையின் அழிவின்மை
Centripetal force — விசைப்புலம்
Companion of sirius — அழல் மின் துணை
Corpuscular theory — நுண்ணிமக் கொள்கை

Conduction Current — கடத்தல் மின்னோட்டம்
Classical Electro magnetic Puls-theory of X-Reys — எக்ஸ் கதிர்களின் தொன்மை மின்காந்தத் துடிப்புக் கொள்கை
Continuity of action — கதிர்வீச்சு தொடர்ந்த செயல்
Constarnt of proportionality — விகித மாறிலி
Collisions — மோதல்
Collecting electrode — சேமிப்பு முனை
Comuitter — உமிழ் பொருள்
Circular scale — வட்ட அளவு கோல்
Colatitude — நிரப்பு நேர் வரை
Condensers — மின்னேற்பிகள்
Compressibility — பொருள்களின் இறுக்கம்
Centres of force — ஆற்றல் மையம்
Coulomb's Law of Inversesquares — கொலூம்பின் எதிர் விகித இருமடி விதி
Central Impact — மையத்தாக்கு
Circular annulus — கங்கன வடிவு
Centrifugal force — மைய விலக்கு விசை
Convergent wave number — குறுகு அலை எண்
Combination terms — கூறுகளின் இணைப்பு
Combination principle — இணைப்புக் கோட்பாடு
Common centre of gravity — பொதுவான புவிஈர்ப்புப் புள்ளி
Corresponding line — ஒத்த கோடு
Converent limit — ஒருங்கும் எல்லை
Contineous X-Ray Spectrum — தொடர்ந்த எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை
Combination terms — கூறுகளின் இணைப்பு

D

Discharge tubes — மின்னிறக்கக் குழல்
Deflection — ஒதுக்கம்
Discharge — மின்னிறக்கம்
Displacement — இடப் பெயர்ச்சி
Diffuse — விரவிப் பரவாமை
Deffecting field — விலக்கும் புலம்
Dispresion — பிரிகை
Direct method — நேர்முறை
Degree of Ionisation — அயனியாக்க நிலை
Disfuse — விரவிப் பரவும்

Deuterium — டியூட்ரியம்
Deffusion method — விரவிப் பரவும் முறை
Data — செய்முறை குறிப்பு
Detachable — சுழற்சி எடுக்கக் கூடிய
Divisions — பிரிவுகள்
Deffract — விளிம்பு விலகல்
Diffraction of X-Rays — எக்ஸ் கதிர்களின் விளிம்பு விலகல்
Diffraction pattern — விளிம்பில் விலகல் வடிவ அமைப்பு
Direct interference phenomena — நேரடியான குறுக்கீடு நிகழ்ச்சி
Detecting device — கண்டு அறியும் பொறி
Direct Beam — நேர்க் கற்றை
Distribution — பங்கீடு
Debroglie wave length of matter waves — பொருள் அலைகளின் டிப்ராய் அலை நீளம்
Double refraction — இரட்டை விலக்கம்
Defination — வரையரை
Dynamical — இயக்கவியல்
Displacement eurrent — இடப் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்
Deflected — திருப்பப்பட்ட
Dynamics of partieles — துகள் இயக்கவியல்
Discontineous parcel — தொடர்ச்சி அற்ற துகள்
Distance of closest approach — மிகக் குறைந்த நெருங்கு தூரம்
Diffuse — கலங்கியத் தொடர்
Double inage prism — இரட்டைப் படிமப் பிரிசம்
Depolarisation factor — முனைவு நீக்க எண்
Diatomic molecules — இரட்டை அணு மூலக்கூறு
Direction of motion — இயக்க திசை
Diamagnetic sulstances — குறுக்குக் காந்தப் பொருட்கள்
Distribution of velocities — வேகப் பங்கீடு
Doublet — இரட்டை வரி
Diffusiveness — பரவிடும் நிலை
Double trace — இரட்டைச் சுவடு
Deviation — கோட்டம்
Dotted line — புள்ளிக் கோடு
Doppler broadening — டாப்ளர் விரிவு
Decreasing sense — இறங்கு போக்கு
Difuse series — மங்கலானத் தொடர்
Disturbance of energy — கலக்கம் அல்லது ஆற்றல்

E

Electrastatic field — நிலைமின்புலம்
Electro Nagative — மின்னெதிர் குறி
Electric Spectrum — மின் நிறமாலை
Empirical method — அனுபவ முறை
Empirical Knowledge — செய்து தெளியும் வழி அறிவு
Effective mass — பயனுறு நிறை
Electric furnace — மின் உலை
Electrolysis — மின்னூர்ப்பகுப்பு
Electrodes — மின்வாய்
Expremental error — செய்முறைப் பிழை
Elementary particle — மூலத் துகள்
Electromagnetic theory — மின் காந்தக் கொள்கை
Electromagnetic pluses — மின் காந்தத் துடிப்பு
Electroscope — மின்காட்டி
Exponental law — எக்ஸ் பொனன்ஷியல் விதி
Envelope — உறை
Electrometer — மின் அளவி
Elementary cubes — அடிப்படை கன சதுரம்
Emulsion — பூச்சு
External summetry — புரச் சமச்சீரமைவு
External space Lattice structure — புறப்பின்னல் வெளி அமைப்பு
Electron Microscope — எலெக்ட்ரான் நுண் நோக்கி
Expremental fact — செய்முறை உண்மை
Ellipsoid — ஓரை வட்ட கட்டி
Elastic solid — நெகிழும் திண் பொருள்
Electro Dinamics — மின் இயக்கவியல்
Effective mass — பயனுள்ள நிறை
Expremental rerification of the mass energy relation — பொருண்மை ஆற்றல் முடிவினை செய்முறை கொண்டு மெய்ப்பித்தல்
Electorn positron pair — எலெக்டிரான் பாசிடிரான் இணை
Electromagnetic Heartizion waves — மின் காந்த ஹெட்டிசியன் அலைகள்
Electric charge — மின்னூட்டம்
Electric vector — மின் வெக்டார்
Existence of Photons — போட்டான்களின் நிலைப்பேறு
Emitter — உமிழ் பொருள்
Electro staticlly — மின் இயல்பு

Elastic collision — மீண்டெழும் மோதல்
Edge — கங்கு
Expression — கோவை
Expremental arrangement — செய்முறை அமைப்பு
Energy transaction — ஆற்றல் பரிமாற்றம்
Elastic impact — மீண்டெழு மோதல்
Electrostatic Potencial — நிலை மின்னழுத்தம்
Equilibrium point — சமநிலைப் புள்ளி
Electro static of attraction — மின்னீர்ப்பு விசை
Empirical relation — செயலறி தொடர்பு
Einsteins law of equivalance — ஐன்ஸ்டீன் சமநிலை விதி
Empirical law — செயலறி விதி
Exciting line — கிளர்ச்சியூட்டும் வரி
Efficiency — செயல் திறன்
Ellipitical orbitits — நீள் வட்ட விதி
External Field of force — புறப்புல விசை
Empirical principle — செயலறி கோட்பாடு
Empirical data — செயலறி குறிப்பு
Empirical method — செயலறி முறை, அனுபவ முறை
Electro positive — எதிர்முனை நோக்கு
Energy level deagram — ஆற்றல் மட்டப்படம்
Electric oven — மின்னடுப்பு
Emiss of radialion — கதிர்வீச்சு உமிழ்வு
Electron cloud — எலெக்டிரான் மேகம்
Electro static attractive farce — நிலைமின் இயல் ஈர்ப்பு விசை

F

Fiducial spot — அடிப்படைப் புள்ளி
Filamemt — இழை
Fluorescen — ஒளிர்தல்
Floresent screen — ஒளிர்திரை
Fogging — மூட்டம்
Fibres — நார்கள்
Frame of reference — குறிப்பு ஆயம்
Fundamental postulates — மூல அடிக் கோள்கள்
Four-dimensional space-time continuum — நாற்பரிமான வெளி-காலம் தொடர்பு
Formula — வாய்ப்பாடு
Fiunction — சார்பலன்

Forus of Inertia — சடத்துவ விசை
Field of force — மைய நடுவிசை
First approximation — முதல் நிலைத் தோராயம்
Frequency — அதிர்வு எண்
Fermates principle of least time — ஃபெர்மடின் குறைந்த கால கோட்பாடு
Face centered — பக்க மையங்கொண்ட
Free Atoms — கட்டற்ற அணுக்கள்
Father of the atomic theory — அணுக் கொள்கையின் தந்தை
Foils — மெல்லியத் தகடுகள்
Fractional distielation — வடித்துப் பிரித்தல்
Firstorder Corisation potential— முதல் வரிசை அயனியாக்க மின்னழுத்தம்
Fourier analysis — ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு
Frequency interval — அதிர்வு எண் இடைவெளி
Filter — வடிகட்டி
Fine structure — நுட்பமான அமைப்பு
Frequenay Interval — அதிர்வு எண் இடைவெளி
Fild grodient — புலச் சரிவு
Ferromagnetic substances — அயகாந்தப் பொருள்கள்
Folidden lines — தடை செய்யப் பட்டவரிகள்
Free electron — கட்டற்ற எலெக்ட்டிரான்
First order — முதல் வரிசை
Factor — காரணக் கூறு

G

Glass leak — கண்ணாடிக் கசிவு
Grating — கீற்றணி
Grating element — கீற்றனிக் கூறு
Glancing angle — சாய் கோணம்
Graph — வரைபடம்
Grating space — கீற்றனி இடைவெளி
Grazing incidence — தழுவிப் படுநிலை
Geomentric symmetry — வடிவியல் சீறமைவு
Geomentric configuration — வடிவியல் உரு அமைப்பு
General relativity — பொதுவான சார்பியல்
Gravitation — புவியீர்ப்பு பற்றிய நிகழ்ச்சி
Gravitational field — ஈர்ப்புப் படலம்
Gramp theory — தொகுதிக் கொள்கை

Guard ring — காப்பு வளையம்
Ground term — கீழ்நிலை உறுப்பு

H

Hollow — உள்ளீடற்ற
Hot anode — வெப்பநேர் மின்வாய்
Heavy water — கன நீர்
Hard — கடினத் தன்மை
Homogeneous — ஒருபடித்தான
Heterogeneous — பல்படித்தான
Huyghen's — ஹைஜீன்
High frequency — உயர் அதிர்வெண்
Hyperbola — அதிபர வளையம்
Hard X-Ray tube — கடின எக்ஸ் கதிர்க் குழாய்
High wave number — உயர் அலை எண்
Horn shaped — கொம்பு வடிவு
Horizantal componen — கிடக்கைக் கூறு
Hemo nuclear molicules — ஓரின அணுக் கரு
Hectro nuclear molicules — ஓரினமற்ற அணுக் கருக்களைக் கொண்ட மூலக் கூறு
Halogen — ஹாலஜன்
Hydrogen like — ஹைட்ரஜனைப் போன்று
Hish vaccum pumps — அதிக வாயு நீக்கம் செய்யும் பம்புகள்
Harmomics — மேற் சுரங்கங்கள்

I

Interistic brilliance — உள்ளார்ந்த ஒளி
Infra-red absorption spectrum of Benzene — பென்சின் புறச்சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலை
Interaction — பின்னிச் செயல்படல்
Indutance — மின் நிலைமச் சுருள்
Ideal system — இலட்சிய அமைப்பு
Interloched — பின்னி இணைக்கப்பட்ட
Intensty rules — செறிவு விதிகள்
Increasing sense — ஏறுகின்ற போக்கு
Identical — ஒன்றாய் அமைந்த
Inter polating experiment — இடைச் சோதனை
Inerb monoatomic gas — மந்த ஓரணு வாயு
In coherent — ஓரினமற்ற சிதறல்

Isonisation — அயனியாக்கம்
Induction coil — தூண்டுச் சுருள்
Intense beams — செறிவார்ந்த கற்றைகள்
Intensity Rotio — செறிவு விகிதம்
Intrinsic constitution — உள ளார்ந்த அமைப்பு
Indicator — குறிப்புக் காட்டி
Ionisation current — அயனி மின்னோட்டம்
Ionisation chamber — அயனியாக்கக் கலம்
Interference — குறுக்கீடு
Interference fringes — குறுக்கீடு வரிப்பட்டைகள்
Integral value — முழு எண் மதிப்பு
Interference phenomena — குறுக்கீடு நிகழ்ச்சி
Intensity — பதிவுச் செறிவு
Intercepts — ஆயத் துண்டு
Infinitc — வரம்பிலி
Internal symmetry — அகச் சீரமைவு
Internal structure — உள்ளமைப்பு
Insulation — காப்புச் சாதனம்
Imaginary — கற்பனை
Infinity — வரையிலி
Inertial system — சடத்துவ அமைப்பு
Inverse square law — இருமடி எதிர் விகிதவிதி
Incoherent scattering — எக்ஸ் கதிர்களின் பல்வினச் சிதறல்
Individual Identites — தனித்த பண்பு
Interaction — பின்னிச் செயல்படல்
Irradiate — ஒளி பிறப்பகம்
Intensity distribution — செறிவுப் பங்கீடு
Insident radiation — படுகதிர் வீச்சு
Interference and mode of ribration of stretched strings — குறுக்கீடு மற்றும் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பிகளின் அதிர்வு
Insulated — காப்பிடப்பட்ட
Instantaneous momentum — உடனடி உந்தகம்
Intrinsie nature — உள்ளார்ந்த இயல்பு
Individuality — சிறப்புப் பண்பு
Interact — பின்னிச் செயல்படும்
Internal energy — உள்ளார்ந்த ஆற்றல்
Inelastic collision — மீண்டெழா மோதல்
Isotopic constitution — ஐசோடோப்பு அமைப்பு

Incohevent scattering — ஓரினமற்ற சிதறல்
Ideal source — இலட்சியத் தோற்றுவாய்

K

Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்
Kinetic energy of Translation — இடப் பெயர்ச்சி இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory — இயக்கக் கொள்கை

L

Locus — நியமப் பாதை
Liquid air — திரவக் காற்று
Limitation of parabola method — பரவளைய முறையின் வரம்புகள்
Linear displacement — நீளவாக்கில் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சி
Longitudiual — நெட்டமைப்பு
Layors — படலங்கள்
Lloyd's mirror arrangement — லாய்ட் ஆடி அமைப்பு
Longitudinal vibrations — நெடுக்கு அதிர்வுகள்
Lattic unit — பின்னல் அலகு
Lattic planes — அணிக்கோண தளங்கள்
Lattic points — அணிக்கோவை புள்ளி
Law of Indices — எண் வழி
Light signal — ஒளிக் குறிப்பு
Lorentzion teransformation equations — லோரன்ஸின் மாற்றச் சமன்பாடு
Law of electro magnetism — மின் காந்த விதி
Law of Inertial — சடத்துவ விதி
Light corpuscles — ஒளி நுண்ணிமங்கள்
Limiting velocity — வரம்பு வேகம்
Large angle scattering — பெருங்கோணச் சிதறல்
Linear simple hormonic cscllator — நேர்க்கோட்டு நேரிசை அலைப்பான்
Lunear velocity — நீட்ட திசை வேகம்
Laws of classical impact — முதுபழம் மோதல் விதி
Lines in are spectrum — வில்விளக்கு நிறமாலை வரி
Loose crystal powder — உதிரிப் படிகத்தூள்
Light gathering power — ஒளி திரட்டும் திறன்
Lows of arithmetical progre-ssion — கூட்டுத் தொடர் விதி
Lead — காரீயம்

Law of equivalence — சமநிலை விதி
Lande — லாண்டே
Limit — எல்லை
Longevin — லாங்வின்
Loops — வளையங்கள்

M

Mass — நிறை
Mass spectrograph — நிறமாலை விரைவி
Maes apectrograph — நிறமை நிறமாலை
Multiply Ionised — பலமடங்கு அயனியாக்கம்
Mass unit — பொருண்மை அலகு
Method of coincidence — ஒருங்கமை முறை
Mass defect — நிறைக் குறை
Mass scale — பொருண்மை அளவு
Mass number — பொருண்மை எண்
Mass spectrograph method — பொருண்மை மாலை வரைவி முறை
Moderator — தனிப்பான்
Mass unit — பொருண்மை அலகு
Material obstracles — பருப் பொருள்கள்
Methyl Bromide — மிதைல் ப்ரோமைடு
Miller indius — மில்லர் குறியீட்டு எண்
Monochromatic X-Ray — ஒரு நிற எக்ஸ் கதிர் கற்றை
Microscope — நுண்பொருள் காட்டி
Molecular Groupings — மூலக்கூறு தொகுதி
Mechanics — விசை
Momentum — உந்தகம்
Michelson Morley Exprement — மைகேல்சன் மாறிலி செய் முறை
Michelson's rotating mirror method — மைகேல்சனின் சுழலும் ஆடி முறை
Mass-energy equivlance — பொருண்மை ஆற்றல் சம நிலை
Mass defect — பொருண்மைக் குறை
Meterialisation — ஆற்றலைப் பொருள்
Mass and momentum of Photon — போட்டான்களின் நிறையும் உந்தகமும்
Millikan's exprement — மில்லிகன் முறை
Monochromatic light — ஒரு நிறமாலை

Modified scattered radiation — மாற்றப்பட்ட சிதறல் கதிர் வீச்சு
Marupertion Principle of least action — மாபார்டியன் குறைந்த செயல் கோட்பாடு
Maxima — பெருமங்கள்
Minima — சிறுமங்கள்
Moly bdemum tri-oxide — மாலிபெடினம் ட்ளா ஆக்ஸைடு
Mean free path — மோதலிடை தூரம்
Maximum displacement — பெரு இடப் பெயர்ச்சி
Monent of Inertia — திருப்புத் திறன்
Mercury vapour — பாதரச ஆவி
Minimum wave length limit — சிறும அலை நீளத்தின் எல்லை
Mass absorption coefficient — பொருண்மை உட்கவர்தல் எண்
Molealar Spectrum — மூலக்கூறு நிறமாலை
Manifold — பலவின் கூட்டம்
Mashing effect — மறைக்கும் விளைவு
Mutual exclusion law — ஒன்றை ஒன்று விலக்கும் விதி
Method of coincidence — ஒருங்கமை முறை
Monochromatic hard X-rays — ஒரே நிற கடின எக்ஸ் கதிர்கள்
Minimum value — குறைந்த அளவு
Maximum number — பெரும எண்
Minimum energy condition — சிறும ஆற்றல் நிபந்தனை
Monovalent — ஒரு சேர் திறன்
Multiplicity of States — நிலைகளின் பெருக்கம்
Many electron system — பல எலெக்ட்ரான் அமைப்பு
Multiplicity symbol of a system — அமைப்பின் பெருக்கக் குறியீடு
Meisser — மைஸ்னர்
Molecular current hypothesis — மூலக்கூறு மின் னோட்ட புனைவு கோள்
Methyl Bromide — மீதைல் புரோமைடு

N

Neon — நியான்
Natural number — இயல்பு எண்
Negative acceleration — எதிர் முடுக்கம்
Natural grating — இயற்கைக் கீற்றணி
Newtonian Principle of relativity — நியூட்டனின் சார்புக் கோட்பாடு

New element — புதுக்கூறு
Nonuniform velocity — சீரற்ற திசை வேகம்
Nueclear transformation — அணுக் கருவில் விளையும் மாற்றம்
Non-electrical nature of Photons — ஃபோட்டான்களின் மின் அற்ற இயல்பு
Not-Photo sensitive — ஒளி உணர்வு அற்ற
Nedle valve — ஊசி வால்வு
Numberical value — எண் மதிப்பு
Narmal level — இயல்பு மட்டம்
Near-unfra-red — அண்மை புறச் சிவப்பு
Natural Complex multiple line — சிக்கல் மிகுந்த பல்வரி அமைப்பு
Non homogeneous — ஒருபடித்தானதற்ற
Nodes — கணுக்கள்
Nelulous Picture of atom — அணுவின் தெளிவற்ற உருவம்
Non Radio active character of stationary waves — அசையா அலைகளின் கதிர் வீசாப் பண்பு
Notation of spectral terms — நிறமாலை உறுப்புக்கான குறியீடுகள்
Normal State — இயல்பு நிலை

O

Origin — தொடக்கப் புள்ளி
Optical grating — ஒளியியல் கீற்றணி
Optical spectrometer — ஒளியியல் நிறமாலை அளவி
Orientations — திசையமைப்பு
Origin of axes — ஆய மையங்கள்
Overlapping of limits — வரம்பு மீதூர்தல்
Orbital motion — விதி இயக்கம்
Origin of spectral lines — நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம்
Optical analonge — ஒளியியல் உவமை
Organic liquide — ஆர்கானிக் திரவம்
Optical activity — ஒளியியல் வினை
Oblique refraction — சாய்வு ஒளி விலகல்
Orbital magnitic moment — வீதிநிலை காந்த சுழற்றுத் திறன்
Origin of the theory of relativity — சார்புக் கொள்கையின் பிறப்பிடம்
Optical electrons — ஒளியியல் எலெக்ட்டிரான்கள்

One electron system — ஒற்றை எலெக்ட்டிரான் அமைப்பு
Optical electron — ஒளியியல் எலெக்ட்டிரான்
Orbital quantum number — வீதிநிலைக் குவாண்டம் எண்
Older models — பழைய மாதிரிகள்
Optical and electrical — ஒளியியல் மற்றும் மின்னியல்

P

Potential energy — நிலை ஆற்றல்
Point event — புள்ளி நிகழ்ச்சி
Perihelion —
Photons — போட்டான்கள்
Probability — நிகழ்திறன்
Photo electric work function — ஒளிமின் வேலை சார்பலன்
Primary bearo — முதல் கற்றை
Principle of intarminacy — உறுதி இல்லாமைக் கோட்பாடு
Polarisation — முனைக் கொள்ளல்
Probability Law — நிகழ்திறன் விதி
Point charges — புள்ளி மின்னூட்டம்
Peripheral electrons — விளிம்பில் உள்ள எலெக்ட்டிரான்
Planets — வான் கோள்
Priviledge orbits — சலுகை பெற்ற விதிகள்
Pachen Series — பாசன் தொடர்
Pulse of radiation — கதிர் வீச்சுத் துடிப்பு
Pure rotation band — கலப்பற்ற சுழற்சி அலைவுப் பட்டை
Parent line — தாய் வரி
Polar or hetropolar molicules — மின் முனைப்பற்ற மூலக் கூறு
Polarisability — முனை வாக்க அளவு
Purerotrtional spectrum — கலப்பற்ற சுழற்சி நிறமாலை
Polarisability tensor — முனைவாக்க அளவு டென்சார்
Polymerised molicules — மீச் சேர் திறன் கொண்ட மூலக் கூறு
Plane of the ellipse — நீள் வட்ட தளம்
Potential energy — அமைப்பின் நிலை ஆற்றல்
Pairing — இணை ஆக்கம்
Positive Potencial — நேர் மின்னழுத்தம்
Periodic system — மடங்கு நில அகப்பினை
Peripheral properties — விளிம்பு சார்ந்தப் பண்புகள்
Positive quantity — நேர் அளவு

Principal series — முதன்மைத் தொடர்
Pole pieces — காந்த முனைத் துண்டுகள்
Pole strength — முனை வலிமை
Permitted Orientations — அனுமதிக்கப்பட்ட திசையமைவுகள்
Paramanetic Substances — இணை காந்தப் பொருள்
Postulates — அடிக்கோள்கள்
Production — தோற்றம்
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Parabola method — பரவளை முறை
Principle — கோட்பாடு
Pump — பம்ப்
Pole pieces — முனைத் துண்டுகள்
Positive — நேர்ப்படிமம்
Point of reference — குறிக்கும் புள்ளி
Principle of velocity sector or velocityfilter — வேகப் பொருக்குக் கொள்கை அல்லது வேக வடிகட்டி
Periodic table — மடக்கு நிலை அட்டவணை
Projectile — வீச்சுப் பொருள்
Prout's hypothysis — ப்ரவுட்டின் புனைவு கோள்
Packing fraction — பொதிவுப் பின்னம்
Periodic table of elements — மடக்கு நிலை அட்டவணை
Platinised asbestos — பிளாடினம் பொதிக்கப்பட்ட கல் நார்
Point source — புள்ளி தோற்றுவாய்
Photo Electron — ஒளி எலெக்ட்டிரான்
Photo electric process — ஒளி மின் நிகழ்ச்சி
Pattern of spots — புள்ளி வடிவம்
Path difference — பாதை வேறுபாடு
Plane greating — சாதாரண தளக் கீற்றணி
Plane of Incedencei — படு தளம்
Pattern — அமைப்பு
Position — நிலை
Polarisation of X-Rays — எக்ஸ் கதிர்கள் முனைவு கொள்ளல்
Permanent Record — நிலைத்தப் பதிவு
Phenomenon of cleavage — பிளவு நிகழ்ச்சி
Powderd crystal method — பொடிக்கப்பட்ட வடிக முறை
Photo electric effect — கதிர்களின் ஒளி மின் விளைவு
Photo electric emission — ஒளிமின் துகள் உமிழ்வு

Plane of reference — குறிப்பு ஆயம்
Postulate — எடுகோள்
Positive direction — எதிர் திசையில்
Perfect gas — இலட்சிய வாயு
Perturabations — கலக்கங்கள்
Patical conception — துகள் கொள்கை

Q

Quadrantelectrometer — கால்வட்ட எலெக்ட்ரா மீட்டர்
Quantum theory — குவாண்டக் கொள்கை
Quantum nature — குவாண்டத் தன்மை
Quantum theory of radiation — கதிர் வீச்சுப் பற்றிய ஆற்றல் குவாண்டக் கொள்கை
Quick alternating electric polesisation — விரைவான திசைமாறும் மின் முனைவு கொள்ளல்
Quantisation of direction — திசையைக் குவாண்டப் படுத்தும் கருத்து
Quantum number — குவாண்ட எண்
Quarter — நான்கு வரி
Quinted — ஐந்து வரி
Quantum Stationary States of atom — அணுவின் வரையறுக்கப்பட்ட அசையா நிலைகள்

R

Reciprocity — செயல் பான்மை
Relativity of time — காலத்தின் சார்பு இயல்
Relativity of simultanity — உடன் நிகழ்வின் சார்பியல்
Receprocal — எதிர் செயல்
Radioactive substances — கதிரியக்கப் பொருள்
Radient energy — கதிர் வீச்சு ஆற்றல்
Rectniliear propagation — ஒளியின் நேர் கோட்டுச் செலவு
Rigid elastic solid — நெகிழும் தன்மை கொண்ட உறுதியான திண் பொருள்
Relativistie dynamics — சார்பு இயக்கவியல்
Radient energy — ஆற்றல் வீச்சு
Reflected intensity — பிரதிபலிப்புச் செறிவு
Retrding potencial — எதிர் முடுக்க மின்னழுத்தம்
Ralative weight — ஒப்பு எடை
Replusive — எதிர்ப்பு விசை

Reduced mass	—	சுருக்கப்பட்ட நிறை
Radiation potential	—	வீச்சு மின்னழுத்தம்
Rare earths	—	அரிய நிலத் தனிமங்கள்
Rotaion-vibration band	—	சுழற்சி அலைவுப் பட்டை
Rayleight scattering	—	ரலே சிதறல்
Rotational lines	—	சுழற்சி வரிகள்
Rotational-vilrational spectrum	—	சுழற்சி அலைவு நிறமாலை
Rotating ellipse dollbly periodic	—	இரட்டை மடக்கு நிலை கொண்ட சுழலும் ஓரை வட்ட அமைப்பு
Relativistic corretion	—	சார்பியல் திருத்தம்
Real system	—	உண்மை அமைப்பு
Resultant	—	கூட்டு விளைவு
Roman number	—	ரோமன் இலக்கம்
Repulsion	—	எதிர்த்துத் தள்ளுதல்
Reduce	—	ஒடுக்கம்
Resonance potential	—	அதிர்வு மின்னழுத்தம்
Reflective index	—	விலகல் எண்
Radioactive elements	—	கதிரியக்கத் தனிமங்கள்
Radioactive series	—	கதிரியக்கத் தொடர்
Relative abundances	—	ஒப்பீட்டுச் செழிப்பு
Rectifier	—	திருத்தி அல்லது நிவர்த்தி
Rectfyink kenotron	—	நிவர்த்திக்கும் கெனோட்ரான்
Resultant displacement	—	முடிவான இடப் பெயர்ச்சி
Retative Abundance	—	ஒப்புமைச் செழிப்பு
Resolving Power	—	மடங்கு பிரிதிறன்
Radian	—	ரேடியன்
Radious of curvature	—	வளைவு ஆரம்
Relative Intensity	—	ஒப்புமைச் செறிவு
Radial electric field	—	ஆரவழி மின்புலம்
Regular sequences	—	ஒழுங்கு கோவை
Relativity	—	சார்புக் கொள்கை
Relative abundance of Isotopes	—	ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு
Refract	—	திசை விலக்கம்
Rotating.anode tube	—	சுழலும் நேர் மின்வாய் குழாய்
Reflection grating .	—	பிரதிபலிக்கும் கீற்றணி
Roch salt	—	இந்துப்பு
Reflection of X-Rays	—	எக்ஸ் கதிர்களின் திசை விலகல்

Rule grating — கோடிட்டக் கிராதி
Raman effect — இராமன் விளைவினை
Resdving power — குறைந்த பிரிதிறன்
Radio metallograpy — கதிர்வீச்சு உலோக இயல்
Reciprocal — தலைமாற்றுப் பின்னம்
Resulting intensity — விளைவுச் செறிவு
Reinforcement — வலிவூட்டம்
Radiography — கதிரியக்க வரைவு முறை
Radiograph — கதிரியக்க வரைவு படம்
Relative velocity — சார்பு வேகம்
Rectilioear motion — நேர் கோட்டியக்கம்
Rotating magnetic field — சுழலும் காந்தப் புலம்

S

Single encounter — ஒரு மோதல்
Square roct — வர்க மூலம்
Stary electron — உதிரி எலெக்ட்ரான்
Special prism — தனிவகை முப்பட்டகம்
Shell — மண்டலம்
Specific quantum number — சுய குவாண்ட எண்
Sub-shell — துணை மண்டலம்
Spectroscopic data — நிறமாலைக் குறிப்புகள்
Selection rules — தேர்வு விதிகள்
Spectrol terms — நிறமாலை உறுப்புகள்
States of atom — அணுவின் நிலை
Sub script — கீழ் இலக்கம்
Super script — மேல் விலக்கம்
Sub term — துணை உறுப்பு
Satellite — துணை வரி
Sharp series — தெளிவான தொடர்
Sub groups — துணைப் பிரிவுகள்
Scheme — திட்டம்
Spatial quantisation — இடஞ்சார்ந்த குவாண்டப் படுத்துதல்
Spining electron — தற்சுழற்சி எலெக்ட்ரான்
Smallest constant unit — சிறும மாறிலி அலகு
Strength — வலிமை
Speciman — பொருளின் மாதிரி
Silver — வெள்ளி
Stationary waves — அசையா அலைகள்

Stationary state — அசையா நிலை
Silica — சிலிக்கா
Solids — திண் பொருள்
Space — வெளி
Simultaneity absolute — ஒன்றுக நிகழ்தல் சார்பற்றது
Simultanity of events — உடன் நிகழ்வு
Special or restricted relativity — வரையரைக்குட்பட்ட சார்பியல்
Simple harmonic oscillations — ஒன்றில் இயங்கச் செய்வதற்கு ஏற்றதாக
Simple harmovically — சீரிசை முறை
Specificheat — வெப்ப எண்
Secondary effect — இரண்டாம் நிலை விளைவு
Stopping potential — நிறுத்தம் மின்னழுத்தம்
Spectro scope — நிலமாலைக் காட்டி
Strong Component — வலுவுள்ள கூறு
Stable state — உறுதி நிலை
Sharp maxima — கூறிய பெருமங்கள்
Special techniques — தனியான உத்திகள்
Sputtering — சிதறிப்படர
Solvents — கரைப்பான
Smoothing — நெலிவு நீக்கும்
Surface structure — மேற்புற கட்டமைப்பு
Synthesis between number and radiation — பொருளுக்கும் கதிர் வீச்சுக்கும் இடையே சேர்க்கை
Singly Ionised atom — ஒரு மடங்கு அயனியாகிய அணு
Spectral line — நிறமாலை வரி
Semi major axis — அரை குற்றச்சு
Simple harmonic osillator — நேரிசை அலைப்பான்
Spectro scopic measurements — நிறமாலை இயல் அளவு
Spectruos of singly ionised heliuns — ஒரு மடங்கு அயனியாக்கப் பட்ட ஹீலியம் நிறமாலை
Short wave lengths — குற்றலை நீளப்பகுதி
Spark spectra — பொறி நிறமாலை
Singlet serier — ஒரு வரித் தொடர்
Speherial dischargetube — கோள வடிவ மின்னிறக்கக் குழாய்
Stop cock — அடைப்பான்
Scintilltion — சுடரொளி

Statistical mean — புள்ளி விவர முறைச் சராசரி
Secondary — இரண்டம் நிலை
Slits — பிளவு
Sign — குறி
Sharp maxima — கூறிய உச்சி
Symmetric images — சமச்சீரமை உடைய படிமங்கள்
Symentrical — சமச்சீரமைவு
Statistical mean — புள்ளியில் சராசரி
Specific charge — மின்னூட்ட எண்
Set-up transformer —
Secondary voltage — துணைச் சுருள் மின்னழுத்தம்
Secondary corpus cular radiation — இரண்டம் நிலை நுண் நிமக் கதிர் வீச்சு
Sersitrivity — நுட்பத் திறன்
Saturation — மீச் செறிவு நிலை
Secondary radiations — இரண்டாம் நிலைக் கதிர் வீச்சு
Scattered rays — சிதறியக்கக் கதிர்கள்
Scatlering cottieient — சிதறல் எண்
Spacing — இடைவெளி
Scattering centre — சிதறச் செய்யும் புள்ளி
Secondary wavelets — இரண்டாம் நிலை சிற்றலைகள்
Same shase — ஒத்த அதிர்வு நிலை
Sharp reflections — நல்ல பிரதி பலிப்புகள்
Sets — தொகுதி
Scattered radiation — கதிர் வீச்சுகளில் இருந்து
Sines — நெடுக்கை
Stenstion — ஸ்டென்ஸ்ட்ராம்
Symmetry elements — அடிப்படைக் கூறு
Standard plane — மூலத்தளம்
Space lattice — அணிக் கோவை வெளி
Sets of planes — தளத் தொகுதி
Space group — வெளித் தொகுதி
Simple cube — எளிய க்யூப்
Semi verticle angle — அரை உச்சிக் கோணம்

T

Thomsons atom model — தாம்சன் அணுமாதிரி
Transition — இடப் பெயற்சி
Technical difficiculties — நுணுக்கத் தொல்லை
Tri atomis molecules — மூவணு மூலக் கூறு

Theoritical rule — கொள்கை அளவு விதி
Tri vaient — மூன்று சேர்திறன்
Thallium — தாலியம்
Transitions — இட மாற்றங்கள்
Total angular number — கூடுதல் கோண உந்தகம்
Triplet — முவ்வரி அடைப்பு
Total intensity rule — முழுச் செறிவு விதி
Thermal motion of moliailar — மூலக் கூறுகளின் வெப்ப இயக்கம்
Term multiplicity — உறுப்புப் பெருக்கம்
Translational displacement — அணு இடப் பெயர்ச்சி
Traces — சுவடுகள்
Trance — சுவடு
Theoretical knowledge — கொள்கை வழி அறிவு
Target — இலக்கு
Transverse ways — குறுங்கு அலைகள்
The ionising power of X-Rays — எக்ஸ் கதிர் அயனியாக்கும் எண்
Transformation cofficient — மாற்ற எண்
Three dimensional space grating — முப்பரிமான தளக்கீற்றணி
Two dimensional plane grating — இரு பரிமான தளக்கீற்றனி
Transmission grating — உட் செலுத்தும் கிராதி
Total Internal refrection — பூரண அகப் பிரதிபலிப்பு
Transverse vibrations — குறுக்கு அதிர்வு
Theory of crystal strecture — படிக அமைப்பினைப் பற்றிய கொள்கை
Typical face — எடுத்துக் காட்டாய் அமையும் பக்கம்
Three dimensional point nets — முப்பரிமான புள்ளி வலை
Theory of Relativity — சார்புக் கொள்கை
Translatory motion — இடம் மாறும் இயக்கம்
Transitory property — நிலையற்ற ஒரு தண்மை
Transverse wave motion — குறுக்கு அலை இயக்கம்
Tuning force — ஒளிக் கவை
Threshold frequency — தொடக்க நிலை அதிர்வு எண்
Time-Loss — கால இழப்பு
Thermonic action — வெப்பச் செயல்
Thermonic emission — எலெக்ட்ரான்களை உமிழ்தல்
Time of exposure — குறைவான பதிவு நேரம்

U

Unit — அடிப்படை அலகு
Undefected spot — நேர்ப் புள்ளி
Ultra violet rays — புற ஊதாக் கதிர்கள்
Unit ell — அலகு மாடம்
Universal equivalence — ஒரு சம நிலை
Unmodified scattered radiation — முதல் உறுப்பு மாற்றப்படாத சிதரல் கதிர் வீச்சு
Ultimate Constituent — பொருளின் இறுதி ஆக்கக் கூறு
Unexcited — எழுச்சியற்ற
Upper limit — உயர் வரம்பு
Universal nature — உலக ரைவிய தன்மை

V

Vectorsum — வெக்டர் கூடுதல்
Velency electaons — இணைதிறன் எலெக்ட்ரான்கள்
Valence — ஒரு சேர் திறன் எலெக்ட்ரான்
Vector atom model — ஏவரை அணு மாதிரி
Vacle ground — வெள்ளைப் பின்னி
Velocity disitbution — வேகப் பங்கீடு
Velocity — திசை வேகம்
Velocity filter — வேக வடிகட்டி
Value amplifying device — வால்வு பெருக்கி
Vernier — வெர்னியர்
Vibrational energy — அலைவு ஆற்றல்
Vibrational Raman line — அலைவு இராமன் வரி
Vector analysis — வெக்டார் பகுப்பு ஆய்வு

W

Wave meckamics — அலைவிசையியல்
Weiss — வெய்ஸ்
Wave mechanical atom model — அலைவிசையியல் அணுமாதிரி
Wave equation — அலை சமன்பாடு
Whole number rule — முழு எண் விதி
Wilsons sold leaf clectroscope — வில்சனின் தங்க இலைமின் காட்டி
Wave motion — அலை இயக்கம்
Waves of probablity — நிகழ்திற அலை
Wien's formula — வெயின் வாய்பாடு

X

X-Ray line — எக்ஸ் கதிர் வரி
X-Ray Analysis of crystals — எக்ஸ் கதிர்களைக் கொண்டு படிகங்களை ஆய்தல்

Z

Zero — சுழி
Zceman effect — சீமன் விளைவு

பொருட்குறிப்பு அகராதி

அ

அணுக்கரு அணுமாதிரி, 206-18
அணுக்கரு ஆரம், 216
அணுக்கருவின் அளவு, 216
அணுக்களின் ஒற்றை எலெக்டிரான் அமைப்பு, 337
அணுவின் வரையறுக்கப்பட்ட அசைவு நிலைகள், 370
அணுமாதிரி அலை விசையில், 376-372
அவகாட்ரோ எண், 82
அனந்தகிருஷ்ணன், 287
அணுகுண்டு, 132
அணுக்கள், 199
அணுக்களின் எலெக்டிரான் கட்டமைப்பு, 218-227
அணுக்களின் அயனியக்கம் மற்றும் எழுச்சியுறச் செய்தல், 247-225
அணுக்களின் வரையறுக்கப்பட்ட அசையா நிலைகள், 370
அணு எண் (Z), 41, 223, 262, 326, 329
அணுவின் கட்டமைப்பு, 199-203
அணுமாதிரிகள் 240-372
அணுமாதிரி போர், 218-46
அணுமாதிரி ருதர்ஃபோர்ட், 206 217
அணுமாதிரி ஃசாமர்பெல், 302-304
அணுமாதிரி தாம்சன், 204-205
அணுமாதிரி-வெக்டர், 305-366
அகச்சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலை 271
அகச்சிவப்பு உட்கவர்தல் நிறமாலையும் ராமன் விளைவும், 283, 293-4
அணுக்களின் அயனியக்கம், 247-51
அணுக்களின் பலமடங்கு அயனியக்கம், 27-8
அயனியக்க மின்னழுத்தம், 248 51
அயனியக்கக் கலம், 60 - 61, 73, 74, 75, 84
அயனிகள் நேர் மாற்றும் எதிர், 60-1
அணுவின் காந்தத் திருப்புத் திறன், 307, 352-54
அலைகள் (பொருள்), 172-197
அலைகள் டிபிராய் கருத்து, 172-81
அலைவிசையில் அணுமாதிரி, 367-72
அலைவிசையில், 173, 193, 334, 368
அலைக் கொள்கை (ஒளிபற்றிய), 141
அழற்சி குவாண்ட எண், 309

ஆ

ஆரநிலை குவாண்டம் எண், 303
ஆக்டினைடுகள், 321
ஆல்ஃபாதுகள் சிதறல், 209-16
ஆஸ்டன், 3, 4, 19, 24, 29, 34, 37
ஆஸ்டன் நிறமாலை விரைவி, 19-24, 38
ஆற்றல் மட்டப் படம், 286, 268, 247
ஆற்றல் பொருளாதல், 134

இ

இணை உற்பத்தி, 134
இயற்கையின் இரட்டைப் பண்பு, 196-7

இராமன் விளைவு, 280-301
இராமன் செய் கருவி, 284-86
இராமன் விளைவின் பயன்கள், 286-99
இராமன் விளை கண்டு பிடித்தல். 281-82
இராமன் விளைவு செய்முறை ஆய்வு, 284-93
இராமன் அதிர்வெண்கள், 283
இராமன் விளைவுகள் நடைமுறை பயன்கள் 296
இராமன் விளைவின் இயல்பு, 283-94
இராமன் விளைவும் அகச் சிவப்பு உட்கவர்தலும், 293-96
இராமன் நிறமாலை, 282, 284, 289, 297
இராமன் குழாய், 284, 286
இராமன் விளைவு கொள்கை விளக்கம், 294-96
இராசெட்டி, 287, 298
இரலே, 08, 149, 281
இரலேஜின் வாய்ப்பாடு, 149
இரலே சிதறல். 281
இராமன் வரிகள் முனை கொள்ளல், 291-93
இணைப்பு J. J 314, 336
இணைப்பு LS (ரெஸ்ஸல் சான்டர்) 312-13, 336
இராமன் வரிகளின் செறிவு, 290-1
இராமன் வரிகள், 282, 286, 290, 291, 292, 293
இராமன் சி. வி., 281, 282, 283, 284,
இடம் சார்ந்த வரையறுத்தல், 306, 320

ஈ

ஈஸ்பின் சமநிலை விதி, 103, 154-56
ஈஸ்பின் பொருண்மை ஆற்றல் தொடர்பு, 103
ஈதர் இழுப்பு 106, 108
ஈதரின் பயனின்மை, 124
ஈதர் எங்கும் சமமாகப் பரவிய நிலை, 141

உ

உறுதிப்பாடு இல்லாமை கோட்பாடு 195
உலன் பெக் 305, 301
உறுதி இல்லாமை கோட்பாடு, 195

எ

எலெக்ட்டிரான் விரும்பு விலகல், 181-93
எலெக்டிரான் (ஒளியல்), 326, 337
எலெக்ட்டிரான் (மீண்டெழும்), 166
எலெக்டிரானின் சார்பியல் நிறை மாற்றம், 127, 134
எலெக்டிரானின் சுய ஆற்றல், 131, 168
எலெக்டிரான் மண்டலம், 318-326
எலெக்டிரான் (சுழலும்), 306, 307, 365
எலெக்டிரான் சேர்திறன், 326, 350, 337
எலெக்டிரான் அமைப்பு அணுவில், 204, 218-27
எஸ்டர் மன், 188
எழுச்சியுறச் செய்தல், 247-52
எலெக்டிரான் சுழற்சி, 306, 307, 311
எக்சார்ட் 186

ஐ

ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு, 4, 17, 28, 34, 37, 38, 47-9
ஐன்ஸ்டீன், 103, 108, 125, 136, 137, 138, 149, 154 157
ஐசோடோப்புகள், 2, 17, 24, 28, 31, 33, 36, 38, 40-49
ஐசோடோப்புகளின் நிறை காணல், 45-49
ஐசோடோப்புகளைக் கண்டு பிடித்தல், 17
ஐசோடோப்புகளின் இயல்பு, 40-1

ஐசோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை 41-2
ஐசோடோப்புகளின் ஒப்புமைச் செழிப்பு, 47-9

ஒ

ஒளிமின் விளைவு, 157-32
ஒளிமின் விளைவு ஐன்ஸ்டீனின் சமன்பாடு, 157-61
ஒளிமின் விளைவு தொடக்க நிலை அதிர்வு எண் 159, 160
ஒளிமின் வேலை சார்பலன், 158, 162
ஒளிமின் விளைவு குவாண்டம் கொள்கை. 157-58
ஒளிமின் விளைவுக் கொள்கை விளக்கம் 157-58
ஒளி எலெக்டிரானின் திசை வேகம், 158-59

ஃ

ஃபோட்டான்களின் நிறையும் உந்தமும், 153
ஃபோட்டான்களின் மின் ஆற்றல் இயல்பு, 154
ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல், 152-53
ஃபோட்டான்களின் நிலைப் பேறு, 151
ஃபேரடே உருளை, 182
ஃபெர்மெட் குறைந்தகால கோட்பாடு, 174
ஃபிபஹெரால்ட், 107
ஃபிசூ, 108
ஃபிராங்க், 254
ஃபிரனல், 106, 140
ஃபிரடரிக், 67
ஃகெய்சன்பர்க் உறுதிப்பாடு இல்லாமை கோட்பாடு 195
ஃஹெர்ட்ஸ், 106, 254
ஃசாட்லர். 290
ஃபோட்டான்கள், 150, 151, 152, 153, 154, 157, 158

க

கலைத்தொகுதி, 221
கருமைப் பொருள் கதிர்விளைவு, 125, 139, 148
கனநீர், 44
காந்தவீதி நிலை குவாண்டம் எண், 310, 334
காந்த கூடுதல் கோண உந்த குவாண்டம் எண், 311
கதிரியக்கம் கண்டுபிடிப்பு, 2
கதிர் வீச்சு மின்னழுத்தம், 249
கதிர் வீச்சுப்பற்றிய தொண்மைக் கொள்கை, 140-47
கதிர் வீச்சின் இரட்டை இயல்பு, 150, 172, 196
கதிர் வீச்சின் குவாண்டத் தன்மை, 125, 140, 148-51
காம்டன், 80, 150, 184, 170
காம்டன் விளைவு, 58, 81, 157 163-172
காம்டன் அலைநீளம், 168
காமாக் கதிர்கள், 184
காமாக் கதிர்கள் இணைதோற்றம், 184
கால விரிவு, 120
காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு, 184
காஃப்மண், 184
காஃப்மண் துகள் சோதனை, 184

கி

கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம், 248

கு

குவாண்டம் எண்கள் (வரையறை எண், 224, 275, 302 308-11, 316, 317
குவாண்டம் கொள்கை, 139-63
குவாண்டம் கொள்கையினைப் பயன்படுத்துதல், 157-172
குவாண்டக் கொள்கையின் அடிப்படை, 148, 49
குவாண்டம் கொள்கை X கதிர் சிதறல், 165, 72
குவாண்டம் பற்றிய பிளாங்கு கொள்கை, 126, 139-148- 163, 172

கூ

கூடுதல் வரையறை எண், 308
கூடுதல் கோணவரையறை எண் (J), 309
கூலிட்ஜ், 56

கூலிட்ஜ் குழாய், 54, 56, 57
கூலூம் இருபடி எதிர் விகிதவழி, 209

கெ

கெனட்டிரான், 172
கௌச்சர். 254
கௌட்ஸ்மிட், 305, 307

கே

கேவன்டிஷ், 3
கேபென்னஸ், 292

கை

கைசர், 216

கோ

கோல்ராஷ்,
கோசல், 267
கோசல் படம், 267-68
கோல்ட்ஸ்பீன், 6

ச

சமநிலைக்கோட்பாடு, 137
சார்பியல் அணுமாதிரி, 302-303
சாட்விக் (Z). 16
சார்பியல், 103-156
சார்பியல் சமன்பாடு, 112-117
சார்பியல் அடிக்கோள்கள், 110-11
சார்பியலின் பிறப்பிடம், 105-106
சார்பியலின் உடன் நிகழ்வு சார்பியல், 120
சான்டர்ஸ், 312
சாமர்ஃபில்ட், 134, 302, 304, 305
சார்பியல் பொதுக்கொள்கை,

சீ

சீமன் விளைவி, 305, 315
சீமன் விளைவு முரணிய, 305
சீமன் விளைவு (இயல்பு), 306

சு

சுழற்சி குவாண்ட எண், 309
சுழற்சி வழிகாந்த திருப்புத்திறன், 307

செ

செர்னி (czerny), 271
செயற்கைத் தனிமங்கள், 132
செபன், 77, 84

சை

சைஜோஜன் பட்டைகள், 273

த

தற்சிறப்பு X கதிர்கள், 65, 225
தனிமங்களின் மடக்கு நிலை அட்டவணை, 48, 201
தனிமமாற்றம் (செயற்கை) 132, 203
தனிமங்களின் ஐசோடோப்புகளின் அமைப்பு, 40, 49
தடைசெய்யப்பட்ட வரிகள், 335

தா

தாம்சன் G.P. 8, 1‑8
தாம்சன் J. J. 3, 135, 145, 163, 204, 205, 206
தாம்சன் அணுமாதிரி, 204-206
தாம்சன் வளைய முறை, 8-19

தி

திசைவேகத்தால் நிறைமாற்றம், 126-127

தூ

தூண்டல் முடுக்கிகள் (பிட்டாடிரான்), 54

தே

தேர்வு விதிகள், 304 315, 333-34, 342, 344, 349
தெர்மர், 181, 186, 187

தொ

தொன்மைக் கொள்கை ஒளிபற்றி 140-148
தொடர் X கதிர்நிறமாலை, 77, 256-59
K தொடர் X கதிர் நிறமாலை, 261, 264
L தொடர் X கதிர் நிறமாலை, 261, 264

ப

பரவளைய முறைநேர்மின் கதிர்கள், 8-19
பட்டை நிறமாலை, 269-280

பட்டை நிறமாலை ஒன்றுவிட்டு ஒன்றின் செறிவு, 290
பகவர்தம். 289
பவன், 255
படிகவியல் பழங்கொள்கை, 86 89
படிகவியல் X கதிர்முறை, 90-97
படிகவியல் Kcl மற்றும் Nacl பற்றியது, 92-94
படிக அமைப்பு, 86
படிக X கதிர் ஆய்வு, 94-97
பல்விகித மொழி,
பாசிட்டிரான், 134
பாசன், 231
பாசன் தொடர், 234 237
பாமர், 229, 230. 231
பாமர் தொடர்பு, 2, 29, 231, 234
பார்க்லா, 80, 260
பாசிட்டிரான், 134

பி

பில்ரம். 287
பிரேவிஸ், 89
பிணைக்கும் ஆற்றல், 47
பிராக்கெட். 230, 234
பிராகெட் தொடர், 230, 234, 237
பிராக்விதி X கதிர் விளிம்பு விலகல் பற்றி, 72-74
பிராக்விதி விலகலுக்கான திருத்தம், 77-80
பிராக் அயனியக்க X கதிர் நிறமாலை அளி, 72-74
பிப்ஸ், 360
பிக்கரிங் தொடர், 242
பிளாங்க் 139, 148. 149
பிளாங் கொள்கை, 148-163, 172
பிளாங்மாறிலி. 149, 151, 152, 163

பீ

பீட்டாடிடிரான், 54
பீட்டா கதிர்கள், 127, 134
பீட்டா கதிர்கள் புச்சார் செய்முறை 134
பீட்டா கதிர்கள் காஃப்மன் செய்முறை, 134

பு

புச்சரள், 134
புச்சரள் B துகள்களில் செய்த சோதனை 134
புரோட்டான், 17, 41

பெ

பெயின் பிரிட்ஜ்ஜேர்பின் நிறமாலை விளவி, 38 40
பெயின் ரிட்ஜ். 3, 34, 36, 37
பெர்சிலியஸ். 201
பெழே, 186
பெயின்பிரிட்ஜ் நிறமாலை விளவி, 34 37
பொருண்மை ஆற்றல் சமன்பாடு, 48, 103
பொருண்மை எண், 41, 46
பொருள் அலைகள், 172-55
பொருளின் இரட்டை இயல்பு, 174, 175, 196
பொருண்மை ஆற்றல் தொடர்புகள் செய்முறை, 132, 134
பொருள்களின் இறுக்கம், 200
பொதிவும் பின்னம், 44
பொதுச் சார்பியல் கொள்கை, 110, 135-138

போ

பேயர், 287
போர், 150, 174, 218, 228 232, 247, 302, 303, 304, 306, 351
போர் அணு மாதிரி, 218-46
போர் கொள்கையைப் பயன்படுத்தல், 247-302
போர் அணுக்கருவின் வாம்பு நிறை திருத்தம், 237-247
போர்க்கொள்கையின் குறைகள், 302
போர் ஆற்றல்மட்டப்படம், 236
போர் அதிர்வு எண் கட்டுப்பாடு, 237, 275
போர் எடுகோள்கள், 218, 19
போர் விதிப்படம், 235
போர் ஆரம், அதிர்வு எண் மற்றும் வீதி ஆற்றல், 219-227
போர் மேக்னடான், 2533, 60, 362, 366

போர் அணுமாதிரிக் கொள்கை, 218-246
போர் நிறமாலை வரிக்கொள்கை, 232-237

பௌ

பௌலர் தொடர், 242
பௌலி, 30, 317, 323
பௌலியன் நீக்கற்கோட்பாடு, 315-16, 323, 324, 327, 328, 329, 337, 339, 343

ர

ரஸ்ஸல், 312
ரஸ்ஸல் சாண்டர்ஸ் இணைப்பு, 312-13
ராமன் வரிகள், 282, 286, 290, 291, 292, 293

ரி

ரிட்பர்க், 229, 230, 234, 320
ரிட்பர்க் மாறிலி, 230-234

ரோ

ரோமர், 111

ரு

ருதர்ஃபோர்ட் சிதறல் வாய்ப்பாடு, 209-13
ருதர்ஃபோர்ட் சிதறல் வாய்ப்பாடு பற்றிய செய்முறை ஆய்வு, 214-17
ருபிஞேவிக்ஸ், 333
ரூப், 187
ருதர்ஃபோர்ட், 206, 208, 216, 217
ருதர்ஃபோர்ட் அணுக்கரு அணுமாதிரி, 206-209-17

ல

லான்டீஸ்பர்க், 284
லாங்ம்யூர், 318
லாந்தானமருகள், 67
லாஎட் ஆடி, 71
லாரண்ட்ஸ், 103, 106, 107, 108
லாவே புள்ளிகள், 67

லி

லின்னிக், 71
லீவிஸ், 318

லூ

லூ, 362

லெ

லெனார்ட், 254
லெனார்ட் ஃபிட்ராலட் குறுக்கம், 107-108
லோரன்ஸன் மாற்றுச்சமன்பாடுகள், 117

லே

லேமன், 234
லேமன் தொடர், 234, 235

வ

வரையறுக்கப்பட்ட விதிகள், 218
வரையறுக்கப்பட்ட விதிகளின் இயல்பு, 218-19
வரையறுக்கப்பட்ட விதிகளின் ஆரம், 224
வரையறுக்கப்பட்ட விதிகளின் அதிர்வெண், 225
வரையறுக்கப்பட்ட வெக்டர்கள், 307
வரையறைக்குட்பட்ட சார்பியல், 110-35

வா

வாயுகுழாய் (X கதிர்), 54-56
வான்லாவே, 52, 63, 67, 71

வீ

வீதிகளின் குவாண்டக்கட்டுப்பாடு, 223
வீதிநிலை குவாண்டம் எண், 308, 353
வீதிநிலை வரையறை எண், 308, 353
வீதிவழி மின்காந்த சுழற்றுத் திறன், 307
வில்லியமண் Rc, 348

வு

வுட், 284, 287

ஹு

ஹு, 172

வெ

வெக்டர் அணுமாதிரி, 305-67
வெக்டர் அணுமாதிரியின் நடைமுறைப் பயன்கள், 315-51
வெக்டர் அணுமாதிரி இணைப்புத் திட்டங்கள், 312-14
வெக்டர் அணுமாதிரி வருணனை, 306-308
வெக்டர் அணுமாதிரி குறைகள், 367
வெக்டர் அணுமாதிரி அணுவில் எலெக்டிரான் அமைப்பு, 317-33
வெக்டர் அணுமாதிரி குவாண்ட எண்கள், 308
வெப்பர், 365
வெய்ஸ் மேக்னடான், 366
வெண்ட்ஸல், 351
வெய்ஸ், 368
வெளிகால தொடர்பம், 118, 138
வெளியின் சார்பியல், 120-21
வெயின், 148

வே

வேகத்தா நிறையில் ஏற்படும் மாற்றங்கள், 126-7, 134, 302

ட

டானே, 77

டே

டேவிசன், 181, 186, 187
டேவிஸ், 254
டெமோகிரிடர், 199
டெம்ப்ஸ்டார், 3, 7, 29, 193
டெம்ப்ஸ்டர் நிறைமாலை விரைவி, 29-33
டெய்லர், 360
டெஸ்லான்ட்ரஸ், 274

டி

டிபிராய் அலை நீளம் 178-79
டி பொருள் அலைகளைச் செய்முறையில் ஆய்தல், 180, 48
டிபிராய் அலை நீளம், 176-79
டிபிராயில், லூயி, 174, 175, 176, 181
டிபிராயில் மாரீஸ், 84
டிபிராய் அலைகள், 176, 80
டிபிரால் அலை நீளம், 176, 181
டிரய, 94
டிசிட்டர், 111
டியூட்ரான், 44, 245-46
டியூமாண்ட், 108, 109, 125, 136, 137, 138, 149, 164 157

ம

மடக்கு விதி, 201

மா

மாற்று ஸ்டோக் வரிகள், 282, 289, 294, 295
மார்ஸ்டன்
மார்லி
மாறு நிலை மின்னழுத்தம், 248-9
மாறு நிலை மின்னழுத்தத்தை அளவிடல், 252-55
மாபார்டியன் குறைந்த செயல் கோட்பாடு, 174
மாக்ஸ்வல், 106, 125, 141, 142, 144

மி

மில்லர் குறியீட்டு எண், 87
மில்லிகன், 159, 161, 255
மில்லிகன் ஒளிமின் சமன்பாட்டை மெய்ப்பிக்கும் முறை, 159-163
மின்காந்த நிறமாலை அட்டவணை, 143
மின்காந்தக் கொள்கை, 141-8
மின் காவ்ஸ்கி, 103

மு

முகட்டு வட்டை குவண்ட எண், 303, 333
முடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டத்திலிருந்து கதிர் வீச்சு, 144
முடுக்கி பீயிடிரான், 54
முகட்டு வட்டை வரையறை எண் 304, 308
முழு எண் விதி, 2, 29, 45

மூ

மூலக்கூறு நிறமாலை, 43, 269-80
மூலக்கூறு நிறமாலையில் ஒன்று விட்ட ஒன்றின் செறிவு, 290
மூலக்கூறு நிறமாலை எலெக்டிரான் பட்டை, 271, 273, 278-80
மூலக்கூறு நிறமாலை செய்முறை ஆய்வு, 271-73
மூலக்கூறு நிறமாலை கலப்பற்ற சுழற்சிப் பட்டை, 271, 272, 277
மூலக்கூறு நிறமாலை கொள்கை வழி விளக்கம், 274-80

மெ

மெஸ்னர், 284
மெண்டலீஃப், 201, 318
மெண்டஸ்டாம், 2-4
மென்சிஸ், 287, 292
மோஸ்லி, 261, 263
மோஸ்லி படம், 263
மோஸ்லி விதி, 264

மை

மைகேல் சன், 106
மைகேல் சன்மார்லி செய்முறை, 106-7

நி

நிறமாலை வரியின் பலவரி அமைப்பு, 302, 304, 305, 333-51
நிறமாலை (இராமன்), 282, 284, 288, 298,
நிறமாலை வரிகளின் நுண்ணமைப்பு, 335-51
நிறமாலை வரிகள் தடைசெய்யப் பட்டவை, 355
நிறமாலை வரிகளின் பிறப்பிடம் 223
நிறமாலையில் முறை மாறுநிலை மின்னழுத்தம் அளக்க, 254-55
நிறமாலை (எலெக்டிரான் பட்டை) 271, 273, 278, 280
நிறமாலை (மூலக்கூறு), 43, 269-80
நிறமாலை (ஒளியியல்) 223-246 307, 338-348
நிப்பிங், 67
நிறைக்குறை, 29, 43, 133
நிறை நிறமாலை வரைவி, 3, 19-40
நியானின் ஐசோடோப்புகள், 17, 18, 28
நியூட்டன், 103, 104, 105, 108, 140, 150
நியூட்டன் விசையில், 103
நியூட்டன் சார்பியல், 105, 111
நீர் (Nier), 37
நீரின் நிறை நிறமாலை வரைவி, 37

நு

நுண்ணமைப்பு அணு நிறமாலை, யில், 305, 315, 333-51
நுண்ணமைப்பு ஒளியில் நிறமாலை, 337-47
நுண்ணமைப்பு நிறமாலையில், 349-51
நுண்ணிமைக் கொள்கை ஒளி பற்றி, 140

நே

நேர்மின் கதிர்கள், 1-51
நேர்மின் கதிர்ச்சுவடுகளை ஆய்தல், 14-15
நேர்மின் கதிர்கள் பரவலளவு முறை, 8-18
நேர்மின் கதிர்கள் தோற்றுவாய 4-8

ய

யங், 140

ஜ

ஜால் மர், 77
ஜீன்ஸ், 149
ஜோடார், 33
ஜோர்டான் நிறைமாலைவரை, 38-40

ஹை

ஹைட்ரஜன் அணு, 17, 205-219, 223, 227, 230, 237 238, 242, 249, 250, 257 302, 305, 329, 330, 345 360

ஹைட்ரஜன் ஆற்றல் மட்டப் படம், 359
ஹைட்ரஜன் (கன), 43
ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகள், 43
ஹைஜின், 140

ஷ

ஷ்ராடிஞ்சர் அலைவிசையியல், 173, 194
ஷ்ராடிஞ்சர், 173, 194
ஷெர், 94

ஸ

ஸ்டோக் வரிகள், 282, 289, 294, 295
ஸ்மீகல், 282, 294, 351
ஸ்டார்க் விளைவு, 305, 315
ஸ்டெர்ன், 193, 305, 351, 354, 357
ஸ்டெர்ன்-கெர்லாக் சோதனை 351 – 67
ஸ்டோக் வரிகள், 282, 291
ஸ்டோனர், 318
ஸ்கெஃப்ர்ஸ், 659

X கதிர்

X கதிர்கள் விலகல் எண், 77-79
X கதிர் சிதறல், 80-81
X கதிர் இரண்டாம் நிலைக் கதிர் வீச்சு, 64
X கதிர் தொடர்கள், 74-76
X கதிர்கள் (மிருது), 64
X கதிர் நிறமாலை அளவி, 72-76
X கதிர் சிகிச்சை, 99-100
X கதிர்கள் முழு பிரதிபலிப்பு, 79
X கதிர்கள் அலையியல்பு, 66, 85
X கதிர்களின் அலை நீளம் காணல், 81, 85
X கதிர் தற்சிறப்பு நிறம், 53, 76, 255, 250-67
X கதிர் தற்சிறப்பு நிறமாலை செய்முறை ஆய்வு, 260-63
X கதிர் நிறமாலை கொள்கை வழி விளக்கம்
X கதிர்கள், 52-100
X கதிர்களின் உட்கவர்தல் 61-65
X கதிர்களைப் பயன்படுத்துதல், 85-100
X கதிர்கள் கூலிட்ஜ்குழாய், 56-57
X கதிர் படிகவியல், 90-96
X கதிர்களைக் கண்டறிதல் 59-61
X கதிர்கள் விளிம்பு விலகல், 66-71
X கதிர்கள் பற்றிய மின்காந்த கொள்கை, 145-47
X கதிர்கள் ஆற்றல் மட்டப் படம், 268-69
X கதிர்கள் நுண்ணமைப்பு நிறமாலை, 348-50
X கதிர்கள் வாயு குழாய், 54-56
X கதிர்கள், 56
X கதிர்களின் தொழிற்றுறைப் பயன்கள், 98
X கதிர்களின் அயனியக்கத் திறன், 59, 60
X கதிர்கள் லாவே புள்ளிகள், 57
X கதிர்கள் மருத்துவத்துறைப் பயன்கள், 98-100
X கதிர்கள் முனைகொள்ளல், 80
X கதிர்களின் ஆக்கம், 54-59
X கதிர்கள் பற்றிய குவாண்டக் கொள்கை 258-60
X கதிர்களின் பிரதிபலித்தல், 71-72
X கதிர்கள் விலகல், 77-79

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை

1971 ஜூலைவரை வெளியிட்டுள்ள நூல்கள்

பொருளாதாரம்

			ரூ.	பை.
*1.	பொருளாதாரம்—I	சி. வேலாயுதம்	6	50
*1-A	,, II	,,	9	00
*2	சோவியத் பொருளாதார வளர்ச்சி	டாக்டர் எம். ஜே. கே. தவராஜ்	4	25
*3	அமெரிக்கப் பொருளாதாரம்	,,	4	50
*4.	பொருளாதாரச் சிந்தனை வரலாறு	சோணாசலம்	7	00
*5.	பன்னாட்டு வாணிபம்	மு. ஆரோக்கியசாமி	6	00
6.	புதுமைப் பொருளாதாரக் கூறுகள்	திருமதி ஆர். தாமரஜாட்சி	12	00
7.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம்—I	தி. சி. மோகன்	12	00
8.	,, II	எா். ஏ. அபூர்வசாமி, பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	10	75
9.	பொருளாதாரக் கோட்பாடு வளர்ந்த வரலாறு	க. முத்தையன்	7	00
*10.	பணவியலும் பாங்கியலும்—I	சி. வேலாயுதம்	6	75
*11.	,, II	,,	11	50
12.	நவீன பாங்கு இயல்	க. வெற்றிவேல்	5	00
*13	இந்தியச் செலாவணியும் பாங்கு முறையும்	பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	5	50
*14.	அரசாங்க நிதி இயல்	அர. சேஷாசலம்	4	75

*மூல நூல் (Original Book)

பொருளாதாரம்—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை
15.	இந்தியப் பொருளியல்—I	எம். பாலசுப்பிரமணியன்	10	00
16.	,, II	எம். லூர்துநாதன்	4	25
17.	நமது பொருளாதாரப் பிரச்சினை—I	சி. சுந்தரராஜன்	10	75
18.	,, II	எஸ். குழந்தைநாதன்	10	50
19.	இங்கிலாந்தின் பொருளாதார வரலாறு—I	கீ. சீ. இராமசாமி	6	00
20.	,, II	,,	6	00
21.	அமெரிக்காவின் நவீன பொருளாதார வளர்ச்சி	தி. சி. மோகன்	5	00
22.	அமெரிக்கப் பொருளாதார வரலாறு—I	மு. க. சுப்பிரமணியம்	11	00
23.	,, II	பி. வி. சீனிவாசன்	6	00
24.	,, III	,,	6	50
25.	அரசாங்க நிதியியலின் பொருளாதாரம்—I	மா. குமாரசாமி	10	00
26.	,, II	அர. சேஷாசலம்	9	50
27.	இந்தியாவின் பொருளாதார வளர்ச்சி—I	தே. வேலப்பன்	10	00
28.	,, II	ஜி. சிதம்பரம்	8	00
29.	பணம்—சிறு விளக்கம்	கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	10	00
*30.	வணிக இயலின் தத்துவங்கள்	கு. ஆளுடையபிள்ளை	9	50
31.	பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் கிரேட் பிரிட்டனில் தொழில்-வாணிகப் புரட்சி	சு. ரா. கருப்பண்ணன்	11	00
32.	டென்ஹாம் பொருளாதாரம்—I	ஏ. குழந்தை	11	00
33.	,, II	எஸ். குழந்தைநாதன்	7	00
*34.	வரவு செலவுத் திட்டம்	ஆர். ரங்காச்சாரி	6	00

35.	பன்னாட்டுப் பொருளாதாரம்—I	...	ஏ. குழந்தை	... 7	50
36.	,, II	...	கே. எஸ். இராமசாமி	... 9	00
37.	பொருளாதார ஆய்வு நூல்—I	...	கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	... 7	75
38.	,, II	...	,,	... 7	00
39.	வளர்ச்சியுருத நாடுகளின் அரசாங்க நிதியியல்	...	க. வெற்றிவேல்	... 4	25
40.	வளர்ச்சி குறைந்த நாடுகளின் முதலாக்கம் பற்றிய சிக்கல்கள்	...	மா. குமாரசாமி	... 5	50
41.	1939 முதல் இந்தியாவில் பணவீக்க விலைப் போக்குகள்	...	சி. சுந்தரராஜன்	... 7	50
42.	பொருளாதார வளர்ச்சிபற்றிய கட்டுரைகள்	...	எம் கே. சுப்பிரமணியம்	... 7	75
43	இந்தியப் பொருளாதார வரலாறு (1857-1956)—I	...	ம. திருநாவுக்கரசு	... 7	00
44.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம்	...	பு. வி. சீனிவாசன்	... 6	25

வரலாறு

*45.	பிரிட்டன் வரலாறு—I	...	கி. ர. அனுமந்தன்	... 4	50
*46.	,, II	...	,,	... 3	50
*47.	,, III	...	,,	... 7	25
*48.	ஐரோப்பிய வரலாறு—I (கி பி. 395—1500)	...	டி. வி. சொக்கப்பா	... 3	75
*49	,, II (கி.பி. 1500 முதல்)	...	என். ஜே. இராஜகோபால்	... 5	50
50.	ஐரோப்பா—கடந்த ஐந்து நூற்றுண்டுகாலச் சரித்திரம்	...	வை. விருத்தகிரீசன்	... 15	00
51	இங்கிலாந்து வரலாறு—I	...	இரா. அண்ணாமலை	... 13	00
52.	,, II	...	பா. மாணிக்கவேலு	... 13	00
53.	,, III	...	என். ஜே. ராஜகோபால்	... 8	00

*மூல நூல் (Original Book)

வரலாறு—(தொடர்ச்சி)

எண்	நூல்		ஆசிரியர்		ரூ.	பை
54.	இங்கிலாந்து வரலாறு—IV	...	என். ஜே. இராஜகோபால்	...	8	00
55.	இங்கிலாந்தின் வரலாறு—I	...	க. த. திருநாவுக்கரசு	...	15	00
56.	,, II	...	எம். எக்ஸ். மிராண்டா	...	8	00
57.	,, III	...	,,	...	5	00
58.	இந்தியாவின் சிறப்பு வரலாறு—I	...	தி. வெ. குப்புசாமி	...	5	00
59.	,, II	...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	...	6	00
60.	,, III	...	அ. பாண்டுரங்கன்	...	7	25
61.	கிரேக்க நாட்டு வரலாறு—I	..	சைமன் ஐ. எஸ். பாக்கியநாதன்	...	7	50
62.	,, II	...	,,	...	7	00
63.	,, III	...	பி. இராமாநுஜம் தேவதாஸ்	...	7	75
64.	ஆக்ஸ்ஃபோர்டின் இந்திய வரலாறு - I	...	தி. வெ. குப்புசாமி	...	8	25
65.	,, II	...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	...	7	50
66.	,, III	...	க. த. திருநாவுக்கரசு	...	10	50
67.	முகலாயப் பேரரசு I	...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப், எம். எக்ஸ். மிராண்டா	...	7	50
68.	,, II	...	எம். எக்ஸ். மிராண்டா, பா. மாணிக்கவேலு	...	7	75
69.	ஆங்கில அரசியலமைப்பின் வரலாறு—I	...	வை. விருத்தகிரீசன்	...	7	50
70.	,, II	..	வை. விருத்தகிரீசன், இரா. அண்ணுமலை	...	6	75
71.	,, III	...	இரா. அண்ணுமலை, பா. மாணிக்கவேலு	...	6	50
72.	,, IV	...	பா. மாணிக்கவேலு	...	7	00

73.	ஆங்கிலேயரின் சமுதாய வரலாறு—I	சி. ஈ. இராமச்சந்திரன்	6 50
74.	,, II	சி. ஈ. இராமச்சந்திரன், இர. ஆலாலசுந்தரம்	6 75
75.	,, III	ஆர். ஆலாலசுந்தரம்	6 50
76.	இந்தியாவில் முகலாயரின் ஆட்சி—I	பா. மாணிக்கவேலு	5 00
77.	,, II	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	6 00

அரசியல்

*78.	அரசியல் அமைப்புகள்	ஜே. இராமச்சந்திரன்	4 62
*79.	அரசாங்கத்தின் வரலாறு	மோ. கிளாரன்சு, டி. டி. பெலிக்ஸ்	7 50
*80.	இந்திய அரசியலமைப்பு	வீ. கண்ணையா	4 75
81.	அரசியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	டி. செல்லப்பா	8 50
82.	தற்கால அரசியல் அமைப்புகள்	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	8 50
83.	பன்னாட்டு அரசியல்—I	திருமதி நூர்ஜஹான் பாவா	16 00
84.	,, II	,,	13 25
85.	பொதுத்துறை ஆட்சி இயல்—I	வீ. கண்ணையா	9 00
86.	,, II	அ. ஜெகதீசன்	7 25
87.	பொதுத்துறை ஆட்சியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	வீ. கண்ணையா	7 50
88.	,, II	டி. செல்லப்பா	7 50
89.	இந்திய அரசியலமைப்புத் திட்டம்	தி. வெ. குப்புசாமி, எஸ். சுப்பிரமணியன்	9 25
90.	இந்திய ஆட்சி அமைப்புமுறை வளர்ச்சி—I	வீ. கண்ணையா	6 25
91.	,, II	வீ. கண்ணையா, கி. ர. அனுமந்தன்	5 75

*மூலநூல் (Original Book)

அரசியல்—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை
92.	இந்திய ஆட்சி அமைப்புமுறை வளர்ச்சி—III	கி. ர. அனுமந்தன்	7	25
*93.	மக்கள் ஆட்சி	க. சந்தானம்	4	25
94.	1919 முதல் சர்வதேச உறவுகளும் உலக அரசியலும்—I	என். ஜே. ராஜகோபால்	7	75
95.	சமூக, அரசியல் கொள்கையின் அடிப்படைகள்	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	7	00
96.	அரசியலமைப்புச் சட்ட ஆய்வுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	பா. சூரியநாராயணன்	5	75
97.	,, II	பா. சூரியநாராயணன், கி. ர. அனுமந்தன்	6	00
98.	,, III	கி. ர. அனுமந்தன்	5	75

உளவியல்

99.	குழந்தை உளவியல்—I	கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	8	00
100.	,, II	,,	7	00
101.	உட்கவர் மனம்	சி. ந. வைத்தீஸ்வரன்	7	00
102.	இளையோர் உளவியல்—I	தி. இரா. அரங்கராசன்	12	00
103.	,, II	,,	9	00
104.	சமூக உளவியல்	என். வேதமணி மானுவேல்	9	25
105.	பிறழ்நிலை உளவியல்	அ. பெசன்ட். கிரீப்பர்ராஜ்	11	00
106.	பித்தரின் உள்ளம்	,,	3	00
*107.	குமர உள்ளம்	டாக்டர் மு. அறம்	6	25
*108.	உளநலவியல்	டாக்டர் தா. ஏ. சண்முகம்	6	00

தத்துவம்

109.	இந்து சமயத் தத்துவம்	ஞா. ராஜாபகதூர்	5 50
*110.	அறிவு ஆராய்ச்சி இயல்	ஆர். ராமானுஜாச்சாரி	3 50
*111.	மேலைநாட்டுத் தத்துவம்	ஆர். எஸ். தேசிகன்	3 50
112.	அத்துவித தத்துவம்	கோ மோ காந்தி	6 50
113.	ஆங்கிலேயப் பயன்வழிக் கொள்கையினர்	மோ வள்ளுவன் கிளாரன் சு	5 50
114.	இந்தியத் தத்துவம்—I	வ. அ. தேவசேனாபதி, பா. நா. சண்முகசுந்தரம்	3 50
115.	,, —II	,,	6 00
116.	மெய்ப்பொருளியல்—ஓர் அறிமுகம் – I	சி. இராமலிங்கம்	6 00

அறவியல்

117.	அறவியல்—ஓர் அறிமுகம்	கோ. மோ. காந்தி	8 50

அளவையியல்

118.	அளவையியல்—தொடக்க நூல்	கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	2 50

மானிடவியல்

*119.	மானிடவியல்	ம. சு கோபாலகிருஷ்ணன்	4 75
120.	பண்பாட்டுக் கோலங்கள்	கி. பூ. சுப்பிரமணியம்	5 50
121.	இந்தியாவில் குடியானவர் வாழ்க்கை	எஸ். இலட்சுமி	3 50

சமூகவியல்

122.	சமூகவியலின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகள்	ஜே. நாராயணன்	10 50

*மூல நூல் (Original Book)

புவியியல்

No.	Title		Author		Rs.	P.
*123.	ஆசியா—I	...	கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	...	9	50
*124.	,, II	...	,,	...	8	75
*125.	ஐரோப்பாக் கண்டத்தின் புவியியல்	...	ஏ. எஸ். நாராயணன்	...	8	50
*126.	தென்கிழக்கு ஆசியா	...	ஜி. கிருஷ்ணமூர்த்தி	...	8	50
*127.	வட அமெரிக்கா	...	குமாரி இரா. அலமேலு	...	6	50
*128.	தென் அமெரிக்கா	...	எம். என். பத்மநாபன்	..	9	00
*129.	தென் கண்டங்கள்—ஆஸ்திரேலியா	...	திருமதி எச். நியூமன்	...	3	00
*130.	,, —ஆஃப்ரிக்கா	...	எஸ். முத்துக்கிருஷ்ணக் கரையாளர்	...	3	25
*131.	புவிப்புறவியல் – II	...	நா. அனந்தபத்மநாபன்	...	6	00
*132.	செய்முறைப் புவியியல்	...	சு. ஜெயச்சந்திரன்	...	5	50
*133.	மக்கட்பரப்பியல்	...	வி. எஸ். அனந்தபத்மநாபன்	...	4	75
*134.	சமுத்திரவியல்	...	கோ. இராமசாமி	...	6	50
135.	காலநிலை இயல்—I	...	கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	...	10	00
136.	,, II	...	,,	...	5	00
*137.	காலநிலை இயல்—I	...	திருமதி இராதா	...	9	50
*138.	,, II	...	,,	...	8	00
139.	வளியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	...	கோ. இராமசாமி	...	5	50
*140.	புவி அமைப்பு இயல்	...	சி. விஸ்வநாதன்	...	4	75
141.	பௌதிகப் புவியியலும் புவியமைப்பியலும்	...	கோ. இராமசாமி	...	6	00
142.	[illegible] வாணிகப் புவியியல்—I	...	எஸ். மாணிக்கம்	...	9	50
143.	,, II	...	எம். கார்த்திகேயன்	...	12	00
144.	,, III	...	சி. எஸ். நரசிம்மன்	...	5	75

புள்ளியியல்

*145.	புள்ளியியல்—அறிமுகம்	சு. வைத்தியநாதன்	10	75
146.	புள்ளியியல் முறைகள்—I	கோ. சண்முகசுந்தரம்	10	00
147.	,, II	இராஜகோபாலன்	14	00
148.	நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்	தி. வி. லட்சுமிநரசிம்மன்	6	50

உயர் கணிதம்

*149.	ஆயத்தொலை வடிவகணிதம்	டி. கே. மாணிக்கவாசகம் பிள்ளை	4	25
*150.	வகை நுண்கணிதம்	,,	3	00
*151.	தொகை நுண்கணிதம்	தி. கோவிந்தராசன்	3	25

விலங்கியல்

*152.	விலங்கியல்	பெ. மா. அண்ணாமலை, இரா. முருகேசன்	12	00

பௌதிகவியல்

153.	ஒளி நூல்	ச. சம்பத்து	10	00

விஞ்ஞானம்

*154.	வானவெளி வெற்றி	டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ்	6	00
*155.	ரேடியோ	டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம்	4	75
*156.	எக்ஸ்-கதிர்கள்	பெ. நா. அப்புசாமி, ஜே. பி. மாணிக்கம்	4	50
*157.	பாம்புகள்	பெ. மா. அண்ணாமலை	3	50
*158.	தாவரம்—வாழ்வும் வரலாறும்	டாக்டர் கு. சீனிவாசன்	8	00
*159.	கரும்பு	கு. பெரியசாமி	4	00
*160.	தாவரங்களின் வாழ்வியல்	எஸ். சுந்தரம்	6	50

*மூலநூல் (Original Book)

மருத்துவம்

			ரூ.	பை
*161.	நீரிழிவு—க்ஷயரோகம்	டாக்டர் ஜி வேங்கடசாமி, டாக்டர் ஏ. கதிரேசன்	2	50
162.	மகப்பேறும் மாதர்நோயும்	டாக்டர் (குமாரி) மணிமேகலை	8	25
*163.	பாக்டீரியா	சு. சுந்தரம்	2	50
164.	புற்றுநோய்	அ. கதிரேசன்	3	50
165.	உடலியங்கியல்—I	டாக்டர்கள் ஜி. வேங்கடசாமி, டி. சரோஜினி, எஸ். கே. துரைராஜ், ஆர். சேது	6	75
166.	,, II	,,	5	50
167.	என்புருக்கி நோய்	டாக்டர் அ. கதிரேசன்	7	25

பொறியியல்

			ரூ.	பை
168.	நீங்களே உங்கள் வீட்டைக் கட்டலாம்	கே. வி. கிருஷ்ணராஜ், சி. ஆர். சுப்பிரமணியம், ஆர். இராமசாமி, கே. வேணுகோபால்	8	50

கூட்டுறவு

			ரூ.	பை
169.	உலகக் கூட்டுறவு இயக்கம்	அ. வேல்மணி	5	50

சட்டம்

			ரூ.	பை
*170.	குற்றவியல் சட்டம்	எம். சண்முகசுப்பிரமணியம்	10	00

பொது நூல்கள்

			ரூ.	பை
171.	மகாத்மா காந்தி	சரஸ்வதி தங்கையன்	3	25
172.	விவசாயப் புரட்சி	வி. கார்த்திகேயன்	8	00
173.	சேமக் கை-நூல்	ஆ. சுப்பிரமணியம்	2	50
*174	முற்காலச் சோழர் கலையும் சிற்பமும்	எஸ். ஆர். பாலசுப்பிரமணியம்	9	00

No.	Title	Author	Rs.	P.
●175	உணவும் ஊட்டமும்	தி. வேங்கடகிருஷ்ணய்யங்கார்	4	50
●176.	பள்ளி நிர்வாக அமைப்பு—அடிப்படைக் கருத்துகள்	எஸ். சந்தானம், எஸ். ஏ. துரைசிங்	6	25

புகுமுக (P.U.C) வகுப்புகளுக்குரியவை

No.	Title	Author	Rs.	P.
●177.	உலக வரலாறு	டி. ஆர். இராமச்சந்திரன்	4	00
●178.	பொருளாதாரம்	ஜி. சிதம்பரம்	2	75
●179.	வணிகவியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	கு. ஆளுடையபிள்ளை	2	50
●180	,, II	,,	2	25
●181.	பௌதிகம்	டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம், ஆர். நாகராஜன்	7	50
●182.	புகுமுக பௌதிகம்	டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ்	6	00
*183.	பௌதிகம்—ஓர் அறிமுகம்	எஸ். சம்பத்	7	00
●184.	புகுமுக வகுப்புக் கணிதம்—I	கே. ராஜகோபாலன்	7	00
●185.	,, II	,,	3	00
●186.	புகுமுக வகுப்புக் கணித நூல்—I	டி. கோவிந்தராஜன், முத்துசாமி	7	00
●187.	,, II	,,	4	50
●188.	கணிதம்—ஓர் அறிமுகம்—I	ஆர். மகாதேவன்	4	75
●189.	,, II	,,	3	25
●190.	வேதியியல்	பி. டி. முனியப்பா, ஆர். முத்துலட்சுமி	7	00
●191.	புகுமுக வேதியியல்	சி. ஏ. பத்மநாபன்	5	50
●192.	விலங்கியல்	எஸ். ஆப்ரகாம்	4	00
●193.	புகுமுக விலங்கியல்	பெ. மா. அண்ணாமலை	7	25
●194.	புகுமுக வகுப்புத் தாவரவியல்	எஸ். சுந்தரம்	4	00

*மூல நூல் (Original Book)

பட்டப்படிப்பிற்குரிய (பி.எஸ்ஸி.) நூல்கள்

(அடக்க விலைப் பதிப்புகள்-கழிவு இல்லை)

No.	பௌதிகம் (Physics)		ரூ.	பை
*195.	எந்திரவியல் — சிறப்புப் பாடம் (Book I) ...	ஆர். நாகராசன் ...	6	25
*196.	,, II ...	,, ...	5	50
*197.	வெப்பவியல்—சிறப்புப் பாடம் ...	கே. நாச்சிமுத்து ...	5	25
*198.	செய்முறை பௌதிகம்—சிறப்புப் பாடம் (Book I) ...	டி. கமலக்கண்ணன், ஆர். கிருட்டிணசாமி ...	4	50
*199.	,, II ...	,, ...	3	25
*200.	பௌதிகம்—துணைப்பாடம்-I (Book I) ...	பி. தங்கராஜன் ...	4	00
*201.	,, (Book II) ...	,, ...	3	00
*202.	செய்முறை பௌதிகம்—துணைப்பாடம் ...	கே. பாசுகரன், இரா. செயராம், ...	4	50
*203.	மின்னியல் காந்தவியல் (Book I) ...	டி. ஏ. கருப்பண்ணன் ...	4	75
*204.	,, II ...	,, ...	4	50
*205.	,, III ...	,, ...	4	25
*206.	ஒளியியல்—சிறப்புப் பாடம் ...	டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், டாக்டர் ஆர். சபேசன் ...	7	75
*207.	பௌதிகம்-துணைப்பாடம் (பகுதி 2) (முதல் புத்தகம்) ...	கா. வே. சுப்பிரமணியன் ...	6	00
*208.	பௌதிகம்-துணைப்பாடம் (பகுதி 2) (இரண்டாம் புத்தகம்) ...	,, ...	4	50
*209.	பொது பௌதிகம்-சிறப்புப் பாடம் ...	கே. பி. கந்தசாமி ...	4	50

No.	Title		Author	Rs.	P.
*210.	இன்றைய பௌதிகம்—சிறப்புப் பாடம்	...	எம். ஏ. தங்கராஜ்	... 6	75
*211.	ஒலி நூல்-சிறப்புப்பாடம்	..	டி. முருகையன்	... 5	00

வேதியியல்

No.	Title		Author	Rs.	P.
*212.	செய்முறை கனிம வேதியியல்-துணைப்பாடம்	...	டாக்டர் முத்துக்குமாரசுவாமி	... 2	00
*213.	செய்முறைக் கனிம வேதியியல்—சிறப்புப் பாடம்	...	டி. இராமலிங்கம்	... 2	25
*214.	பௌதிக வேதியியல்— சிறப்புப் பாடம் (Book I)	...	டி. சக்திவேலு	... 4	00
*215.	,, II	...	,,	... 3	50
*216.	கனிம வேதியியல்—துணைப்பாடம்	...	சி. ஏ. பத்மநாபன்	... 6	50
*217.	கனிம வேதியியல் - சிறப்புப் பாடம் (Book I)	...	பி. டி. முனியப்பா	... 4	00
*218.	,, II	...	,,	... 4	25
*219.	பொது பௌதிக வேதியியல் -துணைப்பாடம்	...	ஆர். துளசிதாஸ்	... 4	75
*220.	அறிமுறை வேதியியல்—சிறப்புப் பாடம்—I	..	ஓ. ஆர். சூரியநாராயணன்	.. 4	50
*221.	,, II	...	,,	... 3	75
*222.	செய்முறைக் கரிம வேதியியல்—சிறப்புப் பாடம்		என் ஆறுமுகம்	.. 3	50
*223.	அங்கக வேதியியல்-துணைப்பாடம்	...	பி எல் இராமசாமி	.. 5	00
*224.	அங்கக வேதியியல்-1	...	எம். ஆட்கொண்டான்	... 3	00
*225.	கரிம வேதியியல்-பகுதி-1 (2-ம் புத்தகம்)	...	திரு. கண்ணபிரான்	... 4	75
*226.	,, (3-ம் புத்தகம்)	...	,,	... 3	25
*227.	கரிம வேதியியல்-பகுதி-2 (1-ம் புத்தகம்)	...	,,	... 5	75
*228.	,, (2-ம் புத்தகம்)	...	,,	... 6	00

*மூல நூல் (Original Book)

கணிதம் (Mathematics)

			ரூ.	பை
*229.	இயற்கணிதப்—சிறப்புப் பாடப் (Book I)	டி. கோவிந்தராஜன் கே. முத்துசாமி	4	25
*230.	,, II	,,	3	25
*231.	தொகுமுறை வரைகணிதம்—சிறப்புப் பாடம்	ஆர். மகாதேவன்	2	00
*232.	எண்சார் கணிதம்—சிறப்புப்பாடம்	எப். எம். இராமசாமி	5	50
*233.	திரிகோண கணிதம்—சிறப்புப்பாடம்	வி. அரங்கநாதன்	3	25
*234.	கணிதம்—துணைப்பாடம்	ஆர். அனுபந்தராவ்	6	00
*235.	நிலையியல்—சிறப்புப்பாடம்	கே. இராஜகோபாலன்	5	00
*236.	முப்பரிமாணப் பகுமுறை வடிவ கணிதம்—சிறப்புப்பாடம்	கே. சிவசுப்பிரமணியன்	2	75
*237.	வெக்டர் கணிதமும் அதன் பயன்பாடுகளும்—சிறப்புப்பாடம்	ஆர். மகாதேவன்	2	00
*238.	கணிதம்-துணைப்பாடம்-பகுதி 2	ஆர். அய்யாசாமி	5	75
*239.	வானியல்—சிறப்புப்பாடம்—முதல் புத்தகம்	திரு. தி. கோவிந்தராசன், திரு. கொ. முத்துசாமி	5	50
*240.	வானியல்-இரண்டாம் புத்தகம்	,,	3	75
*241.	இயக்கவியல்—சிறப்புப் பாடம்	ஆர். மகாதேவன், கே. சிவசுப்பிரமணியம், பி. ஆர். சுப்பிரமணியம்	7	00

புள்ளியியல் (Statistics)

			ரூ.	பை
*242.	புள்ளியியல்—துணைப்பாடம்	எஸ். கருப்பையா	3	50

விலங்கியல் (Zology)

No.	Title	Author	Rs.	P.
*243.	முதுகெலும்பற்றவை I—சிறப்புப்பாடம்	ஆர். முருகேசன்	6	00
*244.	,, II - சிறப்புப்பாடம்	திருமதி எஸ். கே. வள்ளி	6	00
*245.	முதுகுநாணுள்ளவை—I—சிறப்புப்பாடம் (Book I)	திருமதி ராணி கந்தசுவாமி	5	00
*246.	,, II (Book II)	,,	9	75
*247.	முதுகு தண்டுள்ளவை—II—சிறப்புப்பாடம்	திருமதி கிருஷ்ணவேணி நாராயணன்	11	75
*248.	முதுகெலும்பிகளது கருவியல்—சிறப்புப் பாடம்	எஸ். ஆப்ரகாம்	9	00
*249.	முதுகெலும்பற்றவை—துணைப்பாடம்	என். இராமலிங்கம்	9	00
*250.	முதுகுநாணுள்ளவை—துணைப்பாடம்	வி. சேது	6	00
*251.	செல்லியல்—சிறப்புப்பாடம்	என். இராமலிங்கம்	5	50
*252.	மரபியல்—சிறப்புப்பாடம்	பெ. மா. அண்ணுமலை	5	25
*253.	சூழ்நிலையியல்—உடற்செயலியல் சிறப்புப் பாடம்—I	டி. ஆர். கிருஷ்ணன்	4	75
*254.	சூழ்நிலையியல்—உடற்செயலியல் ,, —II	,,	6	50
*255.	பரிணுமம்	எஸ். ஆப்ரகாம்	6	25

தாவரவியல் (Botany)

No.	Title	Author	Rs.	P.
*256.	தாவர வெளி உள்ளமைப்பியல்களும் வகைப்பாட்டியலும்—சிறப்புப்பாடம்	கே. இராஜசேகரன்	11	00
*257.	தாவரப் புற அமைப்பியல்—சிறப்புப் பாடம்	கே. பாலச்சந்திரகணேசன்	9	25
*258.	தாவர உள்ளமைப்பியல்—சிறப்புப் பாடம்	டாக்டர் ஏ. கோவிந்தராஜுலு	7	25

*மூலநூல் (Original Book

தாவரவியல்—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை
*259.	தாவரங்களின் வாழ்க்கை—சிறப்புப் பாடம்	எஸ். சுந்தரம்	9	50
*260.	தாவரவியல்—துணைப்பாடம்	பா. இராசாராம்	4	50
*261.	தாவரச் சூழ்நிலையில், மரபியயல் - உயிர்மரூஉ இயல், இயங்கியல்—துணைப்பாடம்	கே. பெரியசாமி	4	00
*262.	சூழ்நிலையியல், பரிணாமம், மரபியல் — சிறப்புப் பாடம்	கே. ஆர். பாலசந்திரகணேசன்	8	25
*263.	டெரிடோஃபைட்டா, ஜிம்னோஸ்பெர்மே — சிறப்புப் பாடம்	கே. இராஜசேகரன்	10	25
*264.	தாலோபைட்டா (பாசிகளும் பூஞ்சைகளும்) —சிறப்புப் பாடம்	டாக்டர் வே. சோ. சுந்தரலிங்கம்	9	00
*265.	தாவர வகைப்பாட்டியல்—சிறப்புப் பாடம்	ஆ. சம்பத்குமார்	10	50
*266.	பிரையோஃபைட்டா—சிறப்புப் பாடம்	கே. இராஜசேகரன்	6	00

*மூல நூல் (Original Book)